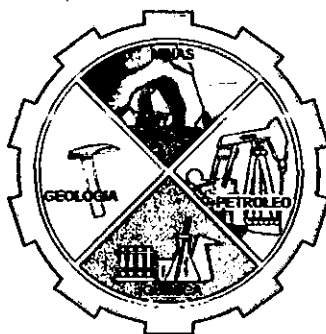


UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO



**"GESTIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE NÚCLEOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE PETRÓLEO UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA"**

TESIS

**PRESENTA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS PARA OPTAR
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA DE PETRÓLEO**

BR. JYMMA KARINA MOGOLLÓN CARDOZA
EJECUTORA

ING. GREGORIO MECHATO QUINTANA.
ASESOR

THE S I S

BR. JYMMMA KARINA MOGOLLÓN CARDOZA

IONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACI PIURA - UN PERU NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD N
IONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACK PIURA - UN NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD N
IONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD N
IONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD N
IONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYO 2015 D NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD N



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

DECANATO

"AÑO DE LA DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA Y DEL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACIÓN"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

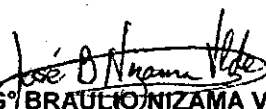
Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 274-CF-2015, de fecha quince de mayo del dos mil quince, que suscriben, reunidos el día miércoles veinte de mayo del dos mil quince, a horas 12:00 m., en el aula del PROMAINA - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "**GESTIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE NÚCEOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO- UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**", conducida por la señorita Bachiller en Ingeniería de Minas **MOGOLLÓN CARDOZA JYMMA KARINA**. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, la declaran:

Aprobada

En consecuencia, queda en condición de ser calificada **APTA** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA DE PETRÓLEO**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 20 de mayo de 2015.


ING° JUAN C. TANTARUNA OCSAS M.Sc.
Presidente del jurado calificador


ING° BRAULIO NIZAMA VALVERDE
Secretario del jurado calificador


ING° JUAN CARLOS ALIAGA RODRÍGUEZ
Vocal del Jurado Calificador

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi Madre, pilar fundamental en mi vida. Sin ella, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general, ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mi Madre, quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. La amo con toda mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mi Profesor Asesor M. Sc. Gregorio Mechato Quintana, por su apoyo constante y permanente, quien con su valiosa orientación académica y profesional, me incentivó para la culminación del presente trabajo de Tesis.

A toda la plana docente de la Facultad de Ingeniería de Minas y en especial a los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo, por sus valiosos conocimientos impartidos durante mi formación profesional.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE NÚCLEOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO - UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

BR. JYMMA KARINA MOGOLLÓN CARDOZA

RESUMEN

Durante la etapa de exploración y explotación de hidrocarburos, se necesitan extraer muestras del subsuelo, con el objeto de obtener parámetros promedios que nos permitan confirmar la existencia de hidrocarburos en cantidades comerciales y estimar el potencial productivo de un reservorio de petróleo y /o gas. Dichas muestras son sometidas a análisis de laboratorio para determinar las propiedades petrofísicas de la roca reservorio, contenido y tipo de fluidos.

El estudio está basado en identificar los aspectos ambientales significativos en cada parte de los procesos de los ensayos, identificación de impactos, estableciendo procedimientos para cada ensayo, requisitos legales y normas específicas, así como métodos para evaluar los aspectos de la Gestión y Manejo de Residuos.

Establecer pautas para identificar las necesidades de Capacitación, Sensibilización y Competencia de personal que realiza las tareas relacionadas con los Aspectos Ambientales identificados, desarrollar las actividades que contribuyen a la formación básica del personal del laboratorio, afin de disponer las competencias necesarias para obtener un desempeño adecuado y seguro de las funciones y responsabilidades asignadas, mantener un alto grado de sensibilización ambiental en el desarrollo de sus labores en la Escuela de Petróleo.

La Universidad Nacional de Piura, dentro de los lineamientos del desarrollo sostenible, está llevando a cabo un proceso de acreditación universitaria que le permita cumplir con los estándares de calidad total que deben cumplir todas las universidades. Dentro del Marco de esta Política es necesario que la Escuela de Petróleo cuente con Sistema de Gestión que garantice la calidad de los análisis efectuados, la calidad ambiental de su entorno y calidad de vida de las personas involucradas en las actividades de funcionamiento del laboratorio, desarrollando técnicas y procedimientos para el manejo adecuado de residuos peligrosos, emisiones de vapores de hidrocarburos y mercurio que se generan como parte de los procesos de análisis de muestras. Asimismo, el tratamiento de las aguas servidas producto de la limpieza de los instrumentos y equipos utilizados en los ensayos.

Palabras Clave: Hidrocarburos, Laboratorio, Análisis de Núcleos, Sensibilización, Aspectos Ambientales, Acreditación, Residuos Peligrosos.

**"DESIGN OF A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR LABORATORY OF
CORE ANALYSIS OF THE PROFESSIONAL SCHOOL OF PETROLEUM
ENGINEERING - NATIONAL UNIVERSITY OF PIURA**

BR. KARINA JYMMA MOGOLLÓN CARDOZA

ABSTRAC

During the stage of exploration and exploitation of hydrocarbons it is needed to extract subsurface samples in order to obtain average parameters that allow us to confirm the existence of hydrocarbons in commercial quantities and to estimate the productive potential of a reservoir of oil and / or gas. These samples are subjected to laboratory tests to determine the petrophysical properties of the reservoir rock, content and type of fluids. The study is based on identifying significant environmental aspects in each part of the process of testing, identifying impacts, establishing procedures for each test, legal requirements and specific rules and methods to evaluate aspects of Management and Waste Management . Establish guidelines to identify the needs of training, awareness and competence of personnel performing tasks related to the identified environmental aspects, develop activities that contribute to the basic training of laboratory staff, allied to have the skills required for proper performance and insurance functions and responsibilities, maintain a high degree of environmental awareness in developing its work in the School of Petroleum. The National University of Piura, within the guidelines of sustainable development, is undertaking a university accreditation process that allows meet total quality standards to be met by all universities. Within the framework of this policy it is necessary that the School of Petroleum count on Management System to ensure the quality of the tests, the environmental quality of their environment and quality of life of the people involved in the activities of facility operation, developing techniques and procedures for the proper handling of hazardous waste, emissions of hydrocarbon vapors and mercury that are generated as part of the process of sample analysis. Also, the treatment of wastewater from cleaning of instruments and equipment used in the trials.

Keywords: Hydrocarbons Laboratory Core Analysis, Awareness, Environmental Issues, Accreditation, Hazardous Waste.

ÍNDICE

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 HIPÓTESIS	4
1.5 METODOLOGÍA APLICADA PARA ELABORAR UN PLAN DE GESTIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS EN EL LABORATORIO DE ANALISIS DE NÚCLEOS	4
1.6 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS	5
 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	 9
2.1 ANTECEDENTES	9
2.1.1 UNIVERSIDADES DE ESTADOS UNIDOS	9
2.1.2 UNIVERSIDADES DEL REINO UNIDO	12
2.1.3 UNIVERSIDADES DE ESPAÑA	13
2.2 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	16
2.3 RESIDUOS Y SU CLASIFICACIÓN	17
2.3.1 CONCEPTO DE RESIDUO	17
2.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS	18
2.4 RESIDUOS PELIGROSOS	19
2.4.1 RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN UN LABORATORIO UNIVERSITARIO	24
2.5 GESTIÓN DE RESIDUOS EN UN LABORATORIO UNIVERSITARIO	25
2.5.1 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS	25
2.5.2 ETAPAS DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	27
2.5.3 GESTIÓN DE LOS EQUIPOS Y PROVEEDORES	28

CAPITULO III: MARCO LEGAL	29
3.1 POLÍTICA AMBIENTAL GENERAL	29
3.2 LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	30
3.3 REGLAMENTO DE LA LEY N° 27314, LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	32
3.4 REGLAMENTO PARA LA PROTECCION AMBIENTAL EN LAS ACTIVIDADES DE HIDROCARBUROS	33
3.5 PLAN DE CONTROL DE DESECHOS	35
 CAPITULO IV: LABORATORIO DE ANÁLISIS DE NÚCLEOS	 37
4.1 IMPORTANCIA DEL LABORATORIO DE ANALISIS DE NUCLEOS EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO	37
4.1.1 FUENTES DE DATOS PETROFÍSICOS PARA LA EVALUACIÓN DE FORMACIONES	39
4.1.2 EL ANÁLISIS DE NÚCLEOS EN LA EVALUACIÓN DE FORMACIONES	40
4.1.3 IMPORTANCIA DE LOS ANÁLISIS DE NÚCLEOS EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO	41
4.2 PROPIEDADES PETROFISICAS DE LA ROCA RESERVORIO	42
4.2.1 POROSIDAD	42
4.2.1.1 TIPOS DE POROSIDAD	43
4.2.1.2 FACTORES GEOLOGICOS QUE AFECTAN LA POROSIDAD	45
4.2.2 PERMEABILIDAD	46
4.2.2.1 DEFINICIÓN DE LA PERMEABILIDAD	47
4.2.2.2 LEY DE DARCY	47
4.2.2.3 TIPOS DE PERMEABILIDAD	49
4.2.3 SATURACIÓN DE FLUIDOS	50
4.2.3.1 TIPOS DE SATURACIÓN	50
4.2.4 PRESIÓN CAPILAR	52
4.2.4.1 TENSIÓN SUPERFICIAL E INTERFACIAL	52
4.2.4.2 MOJABILIDAD	54
4.2.4.3 PRESIÓN CAPILAR	55

**CAPITULO V: ACTIVIDADES DE PLANIFICACIÓN, CORTE, MANEJO Y
ANÁLISIS DE LOS NÚCLEOS DE PERFORACIÓN DE POZOS
PETROLEROS**

	PETROLEROS	59
5.1	COMO PLANIFICAR UN SONDAJE O MUESTREO	59
5.1.1	OBJETIVOS DE UNA OPERACIÓN DE MUESTREO	59
5.1.1.1	LOS OBJETIVOS GEOLÓGICOS	59
5.1.1.2	INGENIERÍA PETROFÍSICA Y DE YACIMIENTOS	59
5.1.2	SELECCIÓN DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN PARA EL SONDAJE	60
5.1.3	EQUIPOS PARA MUESTREO O EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS	60
5.1.3.1	SISTEMAS CONVENCIONALES DE MUESTREO	61
5.1.3.2	SISTEMAS ESPECIALES DE MUESTREO	63
5.1.4	TIPOS DE BROCAS PARA MUESTREO	66
5.1.4.1	BROCAS DE DIAMANTE NATURALES	66
5.1.4.2	CORTADORES COMPACTOS DE DIAMANTES POLICRISTALINOS (CDP)	67
5.1.4.3	DIAMANTES TERMICAMENTE ESTABLES	67
5.1.4.4	BROCAS DE CONOS GIRATORIOS	67
5.2	MANEJO Y PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS EN LAS INSTALACIONES DE POZOS	68
5.2.1	PROCEDIMIENTOS DE MANEJO DE NÚCLEOS	69
5.2.1.1	REMOCIÓN DEL NÚCLEO DE UN CILINDRO INTERIOR ESTÁNDAR DE ACERO PARA USO REPETIDO	70
5.2.1.2	CLASIFICACIÓN Y REGISTRO DE NÚCLEOS	71
5.2.1.3	TRANSPORTE Y LOGÍSTICA	72
5.2.1.4	HOJA DE DATOS	73
5.2.2	PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS PARA ANÁLISIS	74
5.2.2.1	MÉTODOS DE PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS	74
5.2.2.2	ESTABILIZACIÓN MECÁNICA	75
5.2.2.3	PRESERVACIÓN AMBIENTAL	75
5.2.2.4	LAMINADOS PLÁSTICOS SELLADOS A CALOR	76
5.2.2.5	BOLSAS PLÁSTICAS	76

5.2.2.6	BAÑOS Y REVESTIMIENTOS	77
5.2.2.7	CILINDROS INTERIORES DESECHABLES, FORROS Y TUBOS RÍGIDOS	78
5.2.2.8	FRASCO ANAERÓBICO	78
5.3	SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE NÚCLEOS	78
5.3.1	DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS	78
5.3.1.1	APARATOS Y SUMINISTROS	79
5.3.1.2	PROCEDIMIENTOS PARA DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS	79
5.3.2	MUESTREO DE NÚCLEOS Y PREPARACIÓN DE NÚCLEOS	81
5.3.2.1	CORTE, ARREGLO Y MONTURA DE MUESTRAS	82
5.4	LIMPIEZA Y SECADO DE LAS MUESTRAS	84
5.4.1	EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS	84
5.4.2	PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA	85
5.4.2.1	PURGA DE SOLVENTE POR PRESIÓN DIRECTA	85
5.4.2.2	EXTRACCIÓN POR SOLVENTE A GAS	85
5.4.2.3	MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR DESTILACIÓN	86
5.4.2.4	EXTRACCIÓN POR GAS LICUADO	87
5.4.3	SECADO DE LAS MUESTRAS	87
5.5	DETERMINACIÓN DE LA SATURACIÓN DE FLUIDOS	88
5.5.1	MÉTODO DE RETORTA APRESIÓN ATMOSFÉRICA	89
5.5.1.1	EQUIPO UTILIZADO	90
5.5.1.2	PROCEDIMIENTO	91
5.5.1.3	DETERMINACIÓN DE LAS SATURACIONES	94
5.5.1.4	VENTAJAS DEL MÉTODO BÁSICO DE RETORTA	94
5.5.1.5	LIMITACIONES	95
5.5.2	MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR DESTILACIÓN (DEAN STARK)	95
5.5.2.1	EQUIPOS Y REACTIVOS	96
5.5.2.2	PROCEDIMIENTO	98
5.5.2.3	CÁLCULOS	101
5.5.2.4	VENTAJAS	103
5.5.2.5	LIMITACIONES	103

5.6	DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD	104
5.6.1	MEDICIÓN DEL VOLUMEN BRUTO O TOTAL (TAMAÑO DEL TAPÓN)	108
5.6.2	METODO DE INMERSIÓN EN MERCURIO (PRINCIPIO DE FLOTABILIDAD DE ARQUIMEDES)	108
5.6.2.1	VENTAJAS	108
5.6.2.2	LIMITACIONES	108
5.6.2.3	EXACTITUD	109
5.6.2.4	EQUIPOS	109
5.6.2.5	PROCEDIMIENTO	109
5.6.2.6	CÁLCULOS	110
5.6.3	MÉTODO DE FLOTABILIDAD CON FLUIDOS DIFERENTES AL MERCURIO (SALMUERA, ACEITE REFINADO, TOLUENO)	111
5.6.3.1	VENTAJAS	111
5.6.3.2	LIMITACIONES	111
5.6.3.3	EXACTITUD	112
5.6.3.4	EQUIPOS	112
5.6.3.5	PROCEDIMIENTO	112
5.6.3.6	CÁLCULOS	114
5.6.4	VOLUMEN POROSO EFECTIVO DE MUESTRAS AGREGADAS	114
5.6.5	MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE GRANO	114
5.6.5.1	MÉTODO DE DOBLE CELDA DE LA LEY DE BOYLE (CUBETA MATRIZ) PARA EL VOLUMEN DE GRANO	114
5.6.5.1.1	PRINCIPIO	114
5.6.5.1.2	VENTAJAS	115
5.6.5.1.3	LIMITACIONES	115
5.6.5.1.4	EXACTITUD	115
5.6.5.1.5	EQUIPOS	116
5.6.5.1.6	PROCEDIMIENTO	117
5.6.5.1.7	CÁLCULOS	117
5.6.6	PROCEDIMIENTOS HISTÓRICOS	119

5.6.6.1	DESPLAZAMIENTO DE MERCURIO	119
5.6.6.2	MEDIDOR DEL VOLUMEN TOTAL	119
5.6.6.3	MÉTODO DE WASHBURN – BUNTING	119
5.6.6.4	MÉTODO SECO PARA LA DENSIDAD DE GRANO Y EL VOLUMEN POROSO	120
5.6.6.5	MÉTODO HÚMEDO PARA LA DENSIDAD DE GRANO Y EL VOLUMEN POROSO	120
5.6.6.6	MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA DETERMINAR EL VOLUMEN BRUTO- MÉTODO DE RUSSELL	121
5.7	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD	122
5.7.1	DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD ABSOLUTA	122
5.7.2	DESLIZAMIENTO DEL GAS – EFECTO KLINKENBERG	123
5.7.3	PERMEÁMETRO DE GAS RUSKA N°1011	125
5.7.4	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	127
5.7.5	MÉTODO DE OPERACIÓN	127
5.7.6	CÁLCULO DE PERMEABILIDAD	128
CAPITULO VI: INSUMOS USADOS Y RESIDUOS GENERADOS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE NÚCLEOS		130
6.1	MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO FACTIBLES DE REALIZAR EN UN ÁMBITO UNIVERSITARIO	130
6.1.1	SEGREGACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LOS LABORATORIOS DE ANÁLISIS DE NÚCLEOS	130
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		136
CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFÍA		138
ANEXOS		139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Gestión de Residuos en alguna Universidades de Estados Unidos	10
Tabla 2.2	Gestión de Residuos en alguna Universidades de Estados Unidos	11
Tabla 2.3	Gestión de Residuos en alguna Universidades del Reino Unido	12
Tabla 2.4	Gestión de Residuos en alguna Universidades del Reino Unido	13
Tabla 2.5	Gestión de Residuos en alguna Universidades de España	15
Tabla 2.6	Gestión de Residuos en alguna Universidades de España	16
Tabla 5.1	Resume las opciones convencionales de muestreo disponibles.	62
Tabla 5.2	Sistemas especiales de Muestreo.	65
Tabla 5.3	Guía general de corta núcleos	68
Tabla 5.4	Solventes seleccionados y su uso	85
Tabla 5.5	Métodos para el secado de muestras de núcleos	87
Tabla 5.6	Tipo de roca y método recomendado de saturación de fluidos	89
Tabla 5.7.	Índice de volúmenes Total, de grano y poroso	107
Tabla V.4	Relación de sustancias químicas y sus correspondientes compatibilidades	132
Tabla V.5	Reacciones peligrosas de ácidos más comúnmente utilizados en laboratorios	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1	Composición de una arenisca	43
Figura 4.2	Porosidad según la comunicación de los poros	44
Figura 4.3	Distribución del tamaño de los granos	46
Figura 4.4	Variación en la forma de los granos	46
Figura 4.5	Distribución de los fluidos en el reservorio	51
Figura 4.6	Ilustración de la tensión superficial	53
Figura 4.7	Tubo capilar para medir la tensión superficial	53
Figura 4.8	Equilibrio de fuerza en la interfase agua – petróleo – sólido	55
Figura 4.9	relación de presión en tubos capilares	57
Figura 5.1	Equipo de retorta a presión atmosférica	91
Figura 5.2	Curvas de corrección de volúmenes de aceite	94
Figura 5.3	Equipo de destilación volumétrica – Dean Stark	98
Figura 5.4	Equipo de extracción volumétrica – Dean Stark	98
Figura 5.5	Distribución de los fluidos en el espacio poral	106
Figura 5.6	(a) Picnómetro de acero	110
Figura 5.6	(b) Picnómetro de acero con muestra	113
Figura 5.7	Equipo para saturar muestras	113
Figura 5.8	Balanza hidrostática para pesar muestras sumergidas en líquidos de densidad conocida	113
Figura 5.9	Medición de volumen granular, método de la doble celda, aplicación de la Ley de Boyle	116
Figura 5.10	(a) Se llena inicialmente con fluido saturante se invierte y se toma la medida CERO	121
Figura 5.10	(B) Se coloca la muestra en el porta núcleos y luego se invierte y se toma la medida final	121

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

En las formaciones geológicas donde se encuentran emplazados los yacimientos petroleros, diversos tipos de rocas desempeñan funciones como elementos estructurales, recipientes de almacenamiento de hidrocarburos, agua y energía calorífica, así como barreras impermeables y medios de transporte de la energía y de los fluidos. Entre las propiedades más importantes que se utilizan para describir estas funciones se encuentran la porosidad, la permeabilidad, la compresibilidad del volumen de poros, el factor de resistividad de la formación, el exponente de saturación, las permeabilidades relativas, las presiones capilares, las constantes elásticas y otras propiedades mecánicas, el coeficiente de dilatación térmica, la conductividad térmica, la difusividad térmica y el calor específico.

El Laboratorio de Análisis de núcleos cumple una función muy importante y, debe estar centrado en las interrelaciones de las propiedades de las rocas y los fluidos para así ayudar a los operadores de los campos a conocer mejor los reservorios de petróleo y gas. Por eso es que, se deben abordar con relevancia las actividades de extracción, manejo y transporte de los núcleos desde el pozo hasta el laboratorio y, la actividades de corte, manejo y análisis de laboratorio de los núcleos de perforación de pozos petroleros, para la correcta evaluación de las formaciones geológicas.

A menudo al análisis de núcleos se alude como la observación en sitio de las propiedades de las rocas; en el laboratorio, podemos medir las propiedades con mayor precisión y exactitud que a través de la percepción remota. Las mediciones más detalladas y precisas provienen de evaluaciones de muestras de núcleos efectuadas en los laboratorios. Por lo tanto el laboratorio debe emplear procedimientos y equipos estandarizados para sustentar el análisis de los datos de núcleos. Esto ayuda a los clientes a reducir los riesgos asociados con la toma de decisiones de desarrollo de yacimientos.

La Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo (EPIP) de la Universidad Nacional de Piura (UNP), está en proceso de implementar su Laboratorio de Análisis de Núcleos con el objeto de realizar los ensayos para la determinación de las propiedades petrofísicas de la roca reservorio, sobre las muestras extraídas del

subsuelo. Bajo este contexto el propósito de este proyecto es diseñar e implementar un Sistema de Gestión de Manejo de residuos, que permita tener un control en el uso racional de los reactivos y materiales, así como un manejo adecuado de los residuos generados durante los ensayos y que a la vez garantice la calidad ambiental de su entorno y calidad de vida de las personas involucradas en las actividades de funcionamiento del laboratorio.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se sabe que un litro de aceite usado contamina un millón de litros de agua o que un litro de aceite puede llegar a formar una mancha de 4000 m² en el mar. Según esto es factible establecer las prioridades, metas y planes para reducir desechos y emisiones, tomando en cuenta los posibles impactos que puedan presentarse sobre la salud, la seguridad y el medio ambiente. Se puede lograr medir los avances logrados por cada prueba o ensayo en la reducción de la generación de desechos y de las descargas emitidas al aire y al agua, actualizando el inventario cuantitativo por lo menos una vez al año.

El cuidado del ambiente es una creciente preocupación de la sociedad a nivel mundial, la cual propugna o incentiva su defensa de tal forma que la actitud de una persona, una institución o una empresa frente los temas ambientales es utilizada para juzgar su comportamiento.

Uno de los temas que preocupa al desarrollo humano y su relación con el ambiente es la generación de residuos y su adecuado tratamiento. Toda actividad humana genera residuos que impactan o pueden impactar negativamente sobre el ambiente. Parte de estos residuos son considerados peligrosos ya que poseen características que los clasifican como tóxicos, corrosivos o que dañan al medio biótico, abiótico, socioeconómico o cultural. Los generadores de residuos tienen la responsabilidad de realizar las acciones necesarias para que estos residuos no ocasionen daños a su entorno.

Dentro de los generadores institucionales se encuentran las universidades, y dado que el objetivo básico de las mismas es la generación y transmisión de conocimientos al más alto nivel, es su deber formar a las actuales y futuras generaciones de profesionales en un comportamiento respetuoso del ambiente, para así generar una sociedad justa y ecológicamente equilibrada.

Las Universidades, especialmente las que poseen carreras técnicas, tienen laboratorios de enseñanza los cuales generan residuos. Estos residuos se caracterizan por su variedad y porque suelen generarse en bajas cantidades, lo que los diferencia de los de origen industrial, donde la variedad es muy acotada a la actividad de la industria y las cantidades generadas son mucho mayores.

Hace unos años en la mayoría de las universidades de nuestro país y algunas extranjeras, se consideraba que al ser tan pequeña las cantidades de residuos oleosos, químicos y peligrosos generados en los laboratorios, bastaba con arrojarlos por los sumideros o piletas de laboratorio ya que la dilución resultaba suficiente para minimizar su impacto. Hoy en día, tanto a nivel internacional como nacional, esto ha cambiado considerándose que dichos residuos deben gestionarse responsablemente.

Los residuos deben gestionarse de tal manera que el impacto sobre el ambiente sea mínimo. Explícitamente, la falta de investigación, la elaboración de un plan específico y lineamientos detallados que emanen de un “Sistema de Gestión y Manejo de Residuos” el cual permita realizar ensayos para la determinación de las propiedades petrofísicas de las rocas y balancear los riesgos ambientales que se presenten, no solo debido a la generación de desechos o a la emisión de sustancias tóxicas al medio ambiente, sino a los riesgos ocasionales que surjan de los procesos físico-químicos en los análisis de muestras de núcleos, es el problema del Laboratorio de ensayos de Análisis de Núcleos la Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño e implementación de un “Sistema de Gestión y Manejo de Residuos” del Laboratorio de Análisis de Núcleos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo, que garantice el éxito del cumplimiento de una Política de calidad ambiental de su entorno y calidad de vida de las personas involucradas en las actividades del laboratorio de Ensayos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Normalizar todos los ensayos que se realizan a las muestra de acuerdo a la norma internacional API RP 40 e ISO 17025, para poder garantizar la calidad de los Ensayos.

- Realizar un estudio base para clasificar los tipos de Residuos que se generan durante los diferentes procesos de análisis de muestras.
- Establecer los procedimientos para el uso racional de los reactivos, disolventes, materiales tóxicos y peligrosos, así como disposición de los residuos.
- Enmarcar legalmente el tipo de residuos generados en el laboratorio de Análisis de Núcleos de la Universidad Nacional de Piura.
- Proponer, implementar y validar un plano de gestión de residuos para el Laboratorio de Análisis de Núcleos de la Universidad Nacional de Piura.
- Proponer tratamientos de minimización y mitigación de los residuos generados

1.4 HIPÓTESIS

Si las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Análisis de Núcleos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Nacional de Piura generan residuos que pueden impactar al ambiente. Dichos residuos pueden gestionarse en forma sustentable siguiendo un plan de gestión propio que produzca la mitigación de dicho impacto.

1.5 METODOLOGÍA APLICADA PARA ELABORAR UN PLAN DE GESTIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS EN EL LABORATORIO DE ANALISIS DE NUCLEOS

Para poder elaborar un Plan de Gestión y Manejo se desarrollaron las siguientes los siguientes pasos:

1. Recolección de información sobre la problemática de los residuos generados en los laboratorios Universitarios y sus características generales.
2. Análisis del marco jurídico que compete a los residuos peligrosos generados en los laboratorios.
3. Recolección de información en fuentes secundarias sobre la existencia de planes de gestión para laboratorios de enseñanza e investigación en universidades extranjeras y de nuestro país.
4. Estudio del caso particular del Laboratorio de Análisis de Núcleos de la Universidad Nacional de Piura, donde:
 - Se resaltó la importancia del Laboratorio en la Industria del Petróleo, en relación con los diferentes análisis que se realizan para determinar las

Propiedades Petrofísicas de la roca reservorio con el objetivo proporcionar una información In-Situ precisa y detallada de la evaluación de las muestras que llegan al laboratorio.

- Se realizó una descripción de las actividades efectuadas en el laboratorio de enseñanza junto con la caracterización de materias primas y de residuos generados en los mismos.
- Se resaltó la importancia de las actividades de planificación, corte, manejo y análisis de los núcleos de perforación de pozos petroleros.
- Se evaluó la disminución de residuos posible de realizarse en origen y las técnicas de tratamiento factibles de ser efectuadas en un ámbito universitario. Este estudio consistió en el análisis de la segregación de residuos, la minimización de producción en la fuente de generación, los envases o contenedores adecuados para los residuos y el tipo de etiqueta correspondiente a los envases de residuos peligrosos con la información adecuada.
- Se analizaron los residuos generados, luego de las minimizaciones realizadas en su origen, evaluándose los residuos factibles de ser tratados en la misma universidad.
- Se elaboró un modelo de Plan de Gestión de Residuos para el caso particular del Laboratorio de Análisis de Núcleos de la UNP, que puede ser adecuado y/o adoptado para instituciones universitarias similares, teniendo en cuenta la educación ambiental como eje motivante e innovador del plan.

1.6 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BASICOS

- Desechos sólidos (Residuo sólido): conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico (putrescible o no) que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas.
- Gestión de los desechos sólidos: Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos de ámbito nacional, regional, local y empresarial.

- **Generador:** persona natural o jurídica que en razón de sus actividades genera desechos sólidos, sea como productor, importador, distribuidor, comerciante o usuario. También se considerará como generador al poseedor de residuos sólidos peligrosos, cuando no se pueda identificar al generador real y a los gobiernos municipales a partir de las actividades de recolección.
- **Manejo:** almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, tratamiento o procesamiento, Reciclaje, reutilización y aprovechamiento, disposición final.
- **Manejo de desechos sólidos:** Toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final.
- **Manejo integral de desechos sólidos:** Es un conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento que se aplica a todas las etapas del manejo de residuos sólidos desde su generación, basándose en criterios sanitarios, ambientales y de viabilidad técnica y económica para la reducción en la fuente, el aprovechamiento, tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos.
- **Almacenamiento:** toda operación conducente al depósito transitorio de los desechos sólidos, en condiciones que aseguren la protección al medio ambiente y a la salud humana. Acumulación de los desechos sólidos en los lugares de generación de los mismos o en lugares aledaños a estos, donde se mantienen hasta su posterior recolección.
- **Segregación:** proceso de selección o separación de un tipo de desecho específico con el objetivo de clasificar por categoría al residual sólido. Acción de agrupar determinados componentes o elementos físicos de los residuos sólidos para ser manejados en forma especial.
- **Tratamiento:** conjunto de proceso y operaciones mediante los cuales se modifican las características físicas, químicas y microbiológicas de los residuos sólidos, con la finalidad de reducir su volumen y las afectaciones para la salud del hombre, los animales y la contaminación del medio ambiente.

- **Recolección y transportación:** traslado de los desechos sólidos en vehículos destinados a este fin, desde los lugares de almacenamiento hasta el sitio donde serán dispuestos, con o sin tratamiento.
- **Colector:** el que tiene a su cargo la recolección de desechos sólidos.
- **Contenedor:** Recipiente en el que se depositan los desechos sólidos para su almacenamiento temporal o para su transporte.
- **Disposición final:** acción de ubicación final de los desechos sólidos. Proceso final de la manipulación y de la eliminación de los desechos sólidos. Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.
- **Minimización:** Acción de reducir al mínimo posible el volumen y peligrosidad de los residuos sólidos, a través de cualquier estrategia preventiva, procedimiento, método o técnica utilizada en la actividad generadora.
- **Operador:** Persona natural que realiza cualquiera de las operaciones o procesos que componen el manejo de los residuos sólidos, pudiendo ser o no el generador de los mismos.
- **Planta de transferencia:** Instalación en la cual se descargan y almacenan temporalmente los residuos sólidos de los camiones o contenedores de recolección, para luego continuar con su transporte en unidades de mayor capacidad.
- **Estaciones de transferencia:** puntos que se utilizan para realizar la descarga o almacenamiento local de los desechos por un periodo corto de tiempo, menor de un día, para luego ser trasladados a la disposición final.
- **Reutilizar:** Volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye residuo sólido. Se reconoce como técnica de reaprovechamiento el reciclaje, recuperación o reutilización.
- **Recuperación:** Toda actividad que permita reaprovechar partes de sustancias o componentes que constituyen residuo sólido.

- **Relleno Sanitario:** Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.
- **Incinerador:** Instalación o dispositivo destinado a reducir a cenizas los desechos sólidos y otros residuos, reduciendo el volumen original de la fracción combustible de los residuos sólidos del 85-95 %.
- **Reciclaje:** Es un proceso mediante el cual ciertos materiales de los desechos sólidos se separan, recogen, clasifican y almacenan para reincorporarlos como materia prima al ciclo productivo.
- **Reúso:** Es el retorno de un bien o producto a la corriente económica para ser utilizado en forma exactamente igual a como se utilizó antes, sin cambio alguno en su forma o naturaleza.
- **Recolección:** Acción de recoger y trasladar los desechos generados, al equipo destinado a transportarlos a las instalaciones de almacenamiento, transferencia, tratamiento, reúso o a los sitios de disposición final.
- **Recolección Selectiva:** Acción de clasificar, segregar y presentar segregadamente para su posterior utilización.
- **Botadero de Desechos:** Es el sitio o vertedero, sin preparación previa, donde se depositan los desechos, en el que no existen técnicas de manejo adecuadas y en el que no se ejerce un control y representa riesgos para la salud humana y el medio ambiente.
- **Compostaje:** Proceso de manejo de desechos sólidos, por medio del cual los desechos orgánicos son biológicamente descompuestos, bajo condiciones controladas, hasta el punto en que el producto final puede ser manejado, embodegado y aplicado al suelo, sin que afecte negativamente el medio ambiente.
- **Contaminación por desechos sólidos:** La degradación de la calidad natural del medio ambiente, como resultado directo o indirecto de la presencia o la gestión y la disposición final inadecuadas de los desechos sólidos.
- **Lixiviado:** Líquido que se ha filtrado o percolado, a través de los residuos sólidos u otros medios, y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales a partir de ellos, pudiendo contener materiales potencialmente dañinos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

El proyecto de mejoramiento de los residuos sólidos en instituciones educativas, permite realizar un manejo adecuado de la basura, fomentar una conciencia ecológica en la población estudiantil, prevenir la contaminación del medio ambiente, así como disminuir el impacto ambiental a largo plazo. Para la realización de un Plan de Gestión de Residuos de Laboratorio que se adecúe a nuestra universidad y en particular al caso de Laboratorio de Análisis de Núcleos en la Escuela profesional de Ingeniería de Petróleo se ha investigado sobre los planes de gestión de residuos, implementados en ámbitos universitarios nacionales e internacionales.

2.1.1 UNIVERSIDADES DE ESTADOS UNIDOS

Los residuos peligrosos de las universidades estadounidenses se rigen por la regulación americana “Título 40: Protección del Ambiente (CFR 40)” en particular en los Items 261 “Identificación de y listado de residuos peligrosos” y 262 sobre “Estándares aplicables a los generadores de residuos peligrosos” (41) (42). Estas regulaciones se aplican para los generadores de residuos peligrosos en general, es decir para las industrias, actividades agropecuarias etc.

En estas leyes se definen las características de peligrosidad, se promueve el reciclado y reutilización, se determinan listas de sustancias consideradas peligrosas etc., similar a lo establecido en nuestra regulación peruana.

La ley CFR 40 para la gestión de residuos peligrosos en Estados Unidos, establece además una clasificación de generadores de acuerdo a las cantidades generadas por mes, definiéndose las siguientes categorías:

- **Grandes generadores (LQG)**
Generan arriba de 1000 Kg de residuos peligrosos por mes o más de un kilo por mes de residuos agudamente peligrosos, o que muestran toxicidad en estudios con animales o son explosivos.
- **Pequeños generadores (SQG)**
Generan entre 100 y 1000 Kg por mes de residuos peligrosos y menos de 1 Kg de residuos agudamente peligrosos por mes.

- Pequeño generador exceptuado condicionalmente (CESQG)

Generan menos de 100 Kg de residuos peligrosos por mes y menos de 1 Kg de residuos agudamente peligrosos.

Haciendo una comparación de las distintas gestiones de residuos en diferentes Universidades se ha tomado en cuenta los siguientes aspectos: categorías de segregación de residuos, especificación de etiquetas en los recipientes, si el manual de gestión existe y se encuentra publicado, si hay un área de almacenaje en la misma universidad, si se tiene en cuenta la minimización de los residuos y como se los clasifica. Con el fin de tener una perspectiva se muestra la siguiente Tabla.

Tabla 2.1. Gestión de Residuos en alguna Universidades de Estados Unidos

Universidad	Segregación de Residuos de laboratorio	Especificación de Etiquetas en Recipientes	Manual Publicado
Universidad de Rochester, Nueva York	Sí, (8 Categorías): -Sólidos misceláneos -Soluciones acuosas -Ácidos -Bases -Solventes halogenados -Solventes no halogenados -Aceites -Residuos especiales	Sí, -Nombre químico de los componentes -Volumen o peso -Porcentaje en volumen de cada constituyente -Nombre de persona responsable -Departamento generador	Sí , “Learners guide for responsible hazardous chemical waste management”.
Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), Massachussets	Sí, sigue regulación estricta de la EPA	Sí, -Palabra: residuos peligrosos -Nombre químico de los componentes -Nombre de persona responsable -Departamento generador -Fecha de llenado del recipiente	Sí “Chemical Hygiene Plan” Consejos a laboratorios “Environmental Virtual Campus”.
Universidad de Ohio, Ohio	Sí, 9 categorías A- Ácidos inorgánicos. B- Alcalis, aminas C-Sales inorgánicas y Pesticidas D- Solventes orgánicos E- Material Reactivo	Sí , - Palabras “Residuos Peligrosos -Nombre químico de los componentes y composición en porcentaje - Departamento generador - Fecha de llenado del recipiente	Sí, “Environmental Programs – Chemical Wastes” “Chemical Hygiene Plan”

	F- Ácidos orgánicos G- Oxidantes H- peróxidos I- Cianuros y sulfuros		
--	---	--	--

Tabla 2.2. Gestión de Residuos en alguna Universidades de Estados Unidos

Universidad	Área de almacenaje de residuos	Minimización	Clasificación como generador (*)
Universidad de Rochester, Nueva York	Sí, en el campus	-Sustitución -Microquímica -Recuperación por destilación -Reciclado y redistribución de drogas -Neutralización en laboratorio -Cambio de termómetros de mercurio.	LQG 109 000 libras 6000 recipientes (dato año 2000)
Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), Massachussets	Sí, en el campus. "MIT's hazardous waste storage area."	-Reciclado y distribución de drogas -Minimización de stock -Sustitución de tóxicos -Recuperación de solventes -Neutralización en laboratorios -Precipitación de metales pesados.	LQG
Universidad de Ohio, Ohio	No se informa	-Reciclado, -Distribución de drogas.	SQG

Se puede observar que las universidades estadounidenses están catalogadas en general como generadores de tipo LQG y SQG dependiendo del tamaño del establecimiento. Todas las universidades cuentan con un manual de procedimientos para los residuos de laboratorios, algunos más completos que otros. No hay una especificación uniforme sobre la forma de segregación de residuos ni tampoco sobre los recipientes. Casi todas las universidades cuentan con alguna metodología de minimización de residuos. La Universidad de Kentucky, propone la sustitución de termómetros de mercurio por termómetros de alcohol. Esta propuesta es parte de un plan de acción de la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (EPA)

para reducir y minimizar el uso del mercurio en todo el país ya que es considerado una sustancia peligrosa. De esta forma se contribuiría a disminuir los riesgos sanitarios y ayudaría incluso a la reducción de los costos de disposición de mercurio y de la limpieza de equipos y de laboratorios contaminados. Además, que la reducción del uso de mercurio se considera una prioridad tanto a nivel país como a nivel global.

2.1.2 UNIVERSIDADES DEL REINO UNIDO

La legislación que afecta el control de los residuos peligrosos del Reino Unido es el llamado Acto de Protección Ambiental de 1990 (Environmental Protection Act 1990) y la Regulación sobre Residuos Peligrosos de 2005 (Hazardous Waste Regulations 2005). En el primero se introduce el concepto de “El deber de cuidar” (Duty of Care). Se establece con este concepto un absoluto deber del generador de los residuos de tomar las adecuadas medidas para prevenir la disposición ilegal de los mismos y la contaminación del ambiente, asegurándose de transferir esos residuos sólo a personas y transportes autorizados para su procesamiento por la Agencia de Ambiente del Reino Unido. Este deber es el mismo que se establece en nuestra legislación con el lema “de la cuna a la tumba”.

Tabla 2.3. Gestión de Residuos en alguna Universidades del Reino Unido

Universidad	Segregación de Residuos de laboratorio	Especificación de Etiquetas en Recipientes	Manual Publicado
Imperial College, London, Inglaterra	Sólo especifica segregación en cuatro tipos: inflamables, oxidantes y tóxicos y corrosivos desconocidos.	Sí, con descripción de contenido y datos de generador	Sí, “Chemical Waste Disposal”.
Universidad de Bath, Bath, Inglaterra.	Sí, de acuerdo a regulación	Sí, las proporciona el departamento de Higiene Seguridad y Ambiente	Sí, “ Waste Management Hazardous and Difficult Waste”.
Universidad de Cambridge, Cambridge, Inglaterra	No hay información disponible al público	No hay información disponible al público	Sí, “Disposal of Chemical waste” Sólo disponible para personal de la universidad.

En la legislación británica también se puede mencionar la Regulación de Control de Sustancias Peligrosas para la Salud y que rige la manipulación y tratamiento de muchas de las sustancias químicas consideradas peligrosas. No se menciona una legislación particular para los residuos peligrosos de las universidades. El marco legal es el mismo que para los residuos peligrosos industriales.

Tabla 2.4. Gestión de Residuos en alguna Universidades del Reino Unido

Universidad	Área de almacenaje de residuos	Minimización	Observaciones
Imperial College, London, Inglaterra	Sí, en la Universidad hasta que retire el operador autorizado	Sustitución de drogas, minimización de cantidades, etc.	El departamento de seguridad gestiona los residuos
Universidad de Bath, Bath, Inglaterra.	Sí, hasta retiro por operador autorizado	No detalla.	El manual es bastante Detallado
Universidad de Cambridge, Cambridge, Inglaterra	No hay información disponible al público	Se promueve la minimización	Los documentos no están abiertos al público, son de acceso restringido. Sólo para uso interno en la Universidad

Las universidades británicas no brindan una información tan abierta al público como las estadounidenses en este tema. Por otro lado todas informan cumplir con las leyes de residuos siendo éstos gestionados por el operador de tratamiento autorizado. Dado que es muy alto el costo de los tratamientos de los residuos peligrosos en el Reino Unido, se recomienda una minimización en origen con la finalidad de disminuir los gastos realizadas en ese rubro.

2.1.3 UNIVERSIDADES DE ESPAÑA

La normativa española para la gestión de residuos peligrosos a nivel nacional incluye la Ley sobre Residuos, el “Reglamento de la Ley Básica de Residuos Peligrosos”

La Ley sobre Residuos se basa en la Directiva Comunitaria Europea, con esta directiva la Unión Europea asume un concepción de la política de residuos donde se abandona la clasificación en dos únicas modalidades, en general y peligrosos,

para establecer una norma común para todos ellos y con el fin de ser completada con una regulación específica para las categorías de residuos.

Con la Ley de Residuos se pretende también contribuir a la protección del Medio ambiente coordinando la política de residuos con las políticas económica, industrial y territorial, al objeto de incentivar su reducción en origen y dar prioridad a la reutilización, reciclado y valorización de los residuos sobre otras técnicas de gestión.

La ley es aplicable a todo tipo de residuos como los urbanos y los industriales y peligrosos con excepción de las emisiones a la atmósfera, los residuos radioactivos y los vertidos a las aguas. En esta ley se aclara que, de acuerdo a la normativa europea, los diferentes tipos de residuos son regulados por normativas complementarias.

Es de destacar que el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo dependiente del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, publica Guías Técnicas de Prevención (NTP), donde en particular se hace mención a los residuos peligrosos y su gestión en los laboratorios universitarios. La gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios universitarios y de investigación”, por ejemplo, propone la segregación y clasificación de los residuos, el tipo de recipiente adecuado para su almacenamiento, el tipo de etiqueta, las normas de seguridad a observar por los manipuladores, las incompatibilidades químicas etc., poniendo como ejemplo de funcionamiento de este tipo de gestión a la Universidad Autónoma de Barcelona.

Se analizaron y compararon los planes de gestión de residuos algunas universidades españolas como se observa en las tablas. Se puede observar que algunas universidades tienen en cuenta las NTP. La segregación de residuos es tenida en cuenta en todas variando la cantidad de grupos de residuos tóxicos considerados. En todos los casos los recipientes son provistos por el ente que regula los residuos en cada universidad, al igual que las etiquetas. Todas las entidades educativas consideradas tienen un manual de procedimientos para la gestión de residuos. En general, tienen un área de almacenaje, siendo las prácticas de minimización de residuos muy variadas. La universidad de Murcia es la que tiene más detallado los procedimientos y metas a cumplir en este rubro.

Tabla 2.5. Gestión de Residuos en alguna Universidades de España

Universidad	Segregación de Residuos de laboratorio	Especificación de Recipientes	Especificación de Etiquetas
Universidad Autónoma de Madrid, Madrid	Sí, 10 grupos, algunos similares a NTP 480	Sí. Los provee el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la Universidad (SPRL). Envases de polietileno, polipropileno, etc.	Sí. Suministradas por el SPRL. Información solicitada: tipo de residuo, el laboratorio de procedencia y la fecha de recogida, la cantidad generada, etc.
Universidad de Granada, Andalucía	Sí. Se establecen 13 grupos	Los proporciona la universidad. Polietileno de alta densidad. Bidones para líquidos (25 L, 10 L y 5 L), Bidones para sólidos (30 L).	Sí. Ya vienen las etiquetas preimpresas de acuerdo a la categoría de residuos de acuerdo a 30 grupos de la segregación
Universidad Autónoma de Barcelona, Cataluña	Sí, manteniendo los grupos aconsejados en NTP 480 del Instituto Nacional de Higiene y Seguridad del Trabajo y agregando algunos específicos (vidrio contaminado, biopeligrosos, citostáticos, radioactivos etc).	Sí. Los provee la empresa gestora. Son de polietileno de alta densidad y otros especiales (ej: para elementos punzantes, biopeligrosos etc).	Sí. Específicas para cada grupo con identificación de color. Información solicitada: compuesto mayoritario, departamento generador, fecha de inicio de llenado de recipiente etc.
Universidad de Murcia, Murcia.	Sí. Por los menos 12 grupos sugeridos	Sí. Los provee el Servicio de Apoyo a la Investigación	Sí. Los provee el servicio de apoyo a la Investigación, con pictogramas. Información solicitada: Facultad, Departamento, denominación del residuo con composición si es una mezcla

Tabla 2.6. Gestión de Residuos en alguna Universidades de España

Universidad	Área de almacenaje de residuos	Minimización	Manual Publicado
Universidad Autónoma de Madrid, Madrid	Sí, en lugares de Almacenamiento dentro de la Universidad. Son recogidos por empresas gestoras autorizadas	Sí. Aconsejan algunas medidas. Ej: Sustitución de solventes, de amianto, termómetros de mercurio	Sí. "Gestión de Residuos Químicos Tóxicos y Peligrosos"
Universidad de Granada, Andalucía	Sí. Llamado almacén, donde cada 6 meses retira un gestor externo	No especifican	Sí. "Gestión de Residuos Peligrosos"
Universidad Autónoma de Barcelona, Cataluña	Sí. Establecen 9 zonas de almacenado	No especifica para residuos de laboratorio. Sí para residuos domésticos y equipos de laboratorio	Sí. "Gestión de los residuos Especiales de Laboratorio".
Universidad de Murcia, Murcia.	Sí. Un almacén temporal en cada Facultad y un almacén general.	Sí. "Plan de acción 2006- 2009". Reducción en origen, minimización de compras, reutilización, reciclado de productos químicos sobrantes, etc.	Sí. "Normas de funcionamiento del servicio de protección y residuos". "Contención de residuos peligrosos"

2.2 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto se desarrolla en el Laboratorio de Análisis de Núcleos de Escuela profesional de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Nacional de Piura, situada al Norte del Perú en la ciudad del mismo nombre, Piura.

La Universidad Nacional de Piura en sus inicios fue la Universidad Técnica de Piura, creada el 3 de marzo de 1961, mediante ley 13531. En el año 1994 fue creada la Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo (E.P.I.P).

La E.P.I.P. es una institución Educativa Superior, estatal y autónoma, dedicada a formar profesionales en el campo de la Ingeniería de Petróleo para que generen y difundan el conocimiento con la conciencia social, ética y humanística,

con la finalidad de contribuir a la transformación tecnológica y al desarrollo sustentable de la Región Grau y de nuestro País.

La E.P.I.P, cuenta con capacidad instalada para los siguientes laboratorios:

1. Laboratorio de Análisis de Núcleos, para la evaluación petrofísica de un yacimiento, el cual se está implementando. En este laboratorio se hacen los análisis para poder determinar la porosidad, permeabilidad, saturación de fluidos, etc. de las muestras, para tal efecto se utiliza instrumentos, equipos y reactivos químicos en las diferentes etapas de los análisis.
2. Laboratorio de PVT, para la determinación de las propiedades de los fluidos y su comportamiento en el reservorio, conforme varía la Presión y Temperatura durante la vida productiva del yacimiento.
3. Laboratorio Normalizado de Petróleo y Derivados, para la determinación de las propiedades fisicoquímica de los hidrocarburos líquidos y gaseosos.
4. Laboratorio de Reología, para la determinación de las propiedades reológicas de un fluido tixotrópico, como fluidos de perforación, fluidos de completación, fluidos de estimulación, etc.

En tal sentido el propósito del presente proyecto es diseñar e implementar un Sistema de Gestión y Manejo de residuos para el Laboratorio de Análisis de Núcleos, que permita tener un control en el uso racional de los reactivos y materiales, así como un manejo adecuado de los residuos generados durante los ensayos y que a la vez garantice la calidad ambiental de su entorno y calidad de vida de las personas involucradas en las actividades de funcionamiento del laboratorio.

2.3 RESIDUOS Y SU CLASIFICACIÓN

2.3.1 CONCEPTO DE RESIDUO

En primera instancia se puede decir que un residuo es cualquier tipo de material que es generado por la actividad humana y que está destinado a ser desechado. Según la American Chemical Society Task Force Team, un producto se convierte en residuo cuando su productor lo destina al abandono.

También se lo define como todo aquel material sólido, semisólido, líquido o gaseoso que se genera como consecuencia no deseada de una actividad humana. Incluso esta última definición coincide con lo estipulado en las distintas legislaciones de nuestro país a nivel nacional, para la reglamentación de los

llamados residuos industriales, peligrosos y domiciliarios. Por lo que considerar un producto como residuo, queda a voluntad o interés del generador.

En esencia el concepto de desecho o residuo hace referencia a los objetos o sustancias de los que se desprende su poseedor, ya sea por imperativo legal o por su propia voluntad. Para poder realizar una correcta y eficaz disposición de los residuos es importante distinguir los distintos tipos que existen.

2.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

En general se puede clasificar a los residuos:

1. Gaseosos: tóxicos (gases clorados, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno); no tóxicos pero contaminantes a concentraciones altas (dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno).
2. Líquidos: industriales y urbanos.
3. Residuos Sólidos: según la legislación vigente de nuestro país los residuos sólidos se definen de la siguiente manera: “Un residuo sólido, es toda sustancia u objeto que, una vez generado por la actividad humana, no se considera útil o se tiene la intención u obligación de deshacerse de él”.

En el marco de la definición global de residuo, se tiene un sistema que permite clasificar a los residuos de acuerdo a su peligrosidad y en función a ello los residuos pueden ser:

- Residuos No peligrosos, aquellos que al manipularse no representan riesgos a la salud y al ambiente.
 - Residuos Peligrosos, aquellos que por sus características intrínsecas representan riesgos a la salud y al ambiente.
4. Residuos urbanos: domiciliarios (materia orgánica, papeles, plásticos, metales, vidrios); inertes (restos de pequeñas reparaciones y obras menores en viviendas); voluminosos (muebles, electrodomésticos); varios (restos de limpieza de calles, parques, playas).
 5. Industriales: inertes (cenizas, arenas, virutas metálicas etc.); asimilables a urbanos (plásticos, papeles, cartones, orgánicos restos de comida, vidrios); peligrosos (aceites industriales, cianuros, baños de cromados, líquidos y lodos halogenados etc.).
 6. Inertes: construcción y reforma de calles, carreteras (tierras, rocas, escombros).

7. Mineros: estériles (rocas, minerales polvo) tratamiento de menas (sólidos, lodos y líquidos).
8. Agropecuarios: cultivos (cereales, frutales); estiércol (deyecciones de animales); agrícolas industriales (vinazas, frutos secos, conservas etc.).
9. Forestales: podas (ramas, hojas, malezas) corte de madera (aserrín, virutas, ramas, hojas, cortezas); restos de incendio (madera quemada).
10. Hospitalarios: asimilables a urbanos (papeles plásticos, restos de comida etc.); patogénicos o sanitarios específicos (agujas, ampollas, gasas, fármacos, jeringas, restos de tejidos, cultivos de virus, bacterias etc.).
11. Radiactivos: alta, media y baja actividad.

No todos los residuos producen el mismo impacto en el medio ambiente. Una parte importante de los mismos pueden reciclarse o bien formar parte, como materia prima, de nuevos productos. Tal es el caso de los residuos agropecuarios que, en zonas rurales, se reutilizan como enmiendas orgánicas.

Los residuos industriales y especialmente los llamados peligrosos y los hospitalarios patogénicos son los que han llegado a constituir un serio problema tanto desde el punto de vista sanitario como ecológico y económico. Incluso estos residuos se encuentran regulados para minimizar estos impactos sobre el ambiente y la salud humana.

2.4 RESIDUOS PELIGROSOS

Los residuos peligrosos o también llamados especiales, constituyen una subcategoría de los residuos en general y normalmente proceden de la industria. Estos residuos tienen ciertas características físicas, químicas u orgánicas que suponen una amenaza para el ambiente y la vida que en él se desarrolla.

Cronológicamente, la primera aproximación desde el punto de vista práctico, al concepto de residuo peligroso, aparece en la legislación estadounidense dentro de la “Resource Conservation and Recovery Act” de 1976. En dicha ley se considera a un residuo como peligroso “si causa o contribuye de forma significativa a un incremento de la mortalidad o de enfermedades serias irreversibles o reversibles incapacitantes o representa un peligro sustancial, cierto o potencial, para la salud humana o el medio ambiente cuando se trata, almacena, transporta, depone o

gestiona incorrectamente”. La definición anterior presenta un carácter amplio que en realidad dificulta las posibilidades prácticas de catalogar un residuo como peligroso.

En la actualidad, la estrategia frecuente es la elaboración de listas de sustancias o materias de carácter peligroso. Según nuestra legislación “Los residuos peligrosos, son elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, al finalizar su vida útil adquieren la condición de residuos o desechos y que independientemente de su estado físico, representan un riesgo para la salud o el ambiente, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas”. Los residuos peligrosos pueden generarse en las diversas actividades humanas, inclusive en el hogar, siendo los más diversos y que se generan en mayor volumen los residuos químicos peligrosos.

En el caso de los residuos químicos peligrosos, son los establecimientos industriales, comerciales y de servicios los que generan los mayores volúmenes al desechar productos de consumo que contienen materiales peligrosos, al eliminar envases contaminados con ellos, al desperdiciar materiales peligrosos que se usan como insumos de procesos productivos o al generar subproductos o desechos peligrosos no deseados en dichos procesos.

Asimismo, los residuos biológico-infecciosos, se generan en mayor cantidad fuera de los establecimientos médicos o laboratorios, por el gran número de desechos contaminados que se genera por el tratamiento médico al que someten a los individuos infectados o enfermos en sus hogares o en donde abandonen materiales que hayan entrado en contacto con su sangre (o esputo en el caso de individuos tuberculosos).

Es por las razones antes expuestas, que se hace esencial el conocimiento acerca de la peligrosidad y riesgo en el manejo de los residuos peligrosos de toda índole, así como saber qué medidas de protección se pueden adoptar para prevenir o reducir dicho riesgo.




Por otro lado los residuos peligrosos son definidos en el Art.22 de la misma ley de la siguiente manera:






- Son residuos sólidos peligrosos aquéllos que por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente.
- Sin perjuicio de lo establecido en las normas internacionales vigentes para el país o las reglamentaciones nacionales específicas, se considerarán peligrosos

los que presenten por lo menos una de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, radiactividad o patogenicidad (biocontaminación).

Dichas características de peligrosidad se resumen en las siglas CRETIB. Asimismo son residuos peligrosos, los que hayan sido calificados como tal por la normativa peruana y los que aprueba y define la DIGESA, de conformidad con lo establecido en la normativa nacional o en convenios internacionales de los que el Perú sea parte, la simbología de los residuos peligrosos se presenta en el siguiente Fig.

Símbolos y Características de los Residuos Peligrosos

Símbolos de Peligro			Características de los Residuos Peligrosos
	T	Tóxico	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
	T+	Muy Tóxico	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
	C	Corrosivo	Las sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos puedan ejercer una acción destructiva de los mismos.
	F	Fácilmente Inflamable	Las sustancias y preparados que: <ol style="list-style-type: none"> 1. Que puedan calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía, o 2. Los sólidos que puedan inflamarse fácilmente tras un breve contacto con una fuente de inflamación y que sigan quemándose o consumiéndose una vez retirada dicha fuente, o 3. Los líquidos cuyo punto de ignición sea muy bajo, o 4. Que, en contacto con el agua o con el aire húmedo, desprendan gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas.
	F+	Extremadamente Inflamable	Las sustancias y preparados líquidos que tengan un punto de ignición extremadamente bajo y un punto de ebullición bajo, y las sustancias y preparados gaseosos que, a temperatura y presión normales, sean inflamables en contacto con el aire.

Símbolos de Peligro			Características de los Residuos Peligrosos
	N	Peligroso para el medio ambiente	Las sustancias y preparados que presenten o puedan presentar un peligro inmediato o futuro para uno o más componentes del medio ambiente.
	E	Explosivo	Las sustancias y preparados sólidos, líquidos, pastosos, o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, puedan, reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explotan.
	O	Comburente	Las sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, produzcan una reacción fuertemente exotérmica.
	Xn	Nocivo	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
	Xi	Iritante	Las sustancias y preparados no corrosivos que, en contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas puedan provocar una reacción inflamatoria.
	B	Biocontaminado	Riesgo Biológico. (Virus, Bacterias, etc.)

2.4.1 RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN UN LABORATORIO UNIVERSITARIO

Como toda actividad humana, el trabajo en un laboratorio universitario genera residuos. Los mismos presentan características distintivas respecto de los de origen industrial. En general son variados, peligrosos y de escaso volumen, haciendo que su gestión ambiental presente un desafío singular.

En un laboratorio universitario (dedicado a docencia y/o investigación y/o servicios) se pueden distinguir los siguientes tipos de residuos:

- Residuos inertes (de origen mineral, escombros)
- Residuos no peligrosos (asimilables a los residuos domiciliarios o municipales)
- Residuos especiales o peligrosos

Estos últimos presentan las características de toxicidad y peligrosidad ya mencionadas. Su identificación o almacenamiento inadecuado constituyen un riesgo añadido a los propios de la actividad del laboratorio.

Los residuos especiales del laboratorio incluyen los sólidos, soluciones acuosas sustancias orgánicas, sustancias inorgánicas, gases, aceites usados (que se encuentran todos ellos dentro de la clasificación de peligrosos) y aquellos que exigen una gestión diferenciada y que están legislados especialmente. Tal es el caso de los residuos radiactivos, y los residuos biológicos o patogénicos. Todos ellos deben cumplir con un plan de gestión que incluye desde la recolección, identificación, transporte, tratamiento (tanto dentro como fuera del laboratorio).

En el presente trabajo de tesis no se contemplarán los residuos radiactivos ni los patogénicos, por lo que se tratará especialmente la gestión de los residuos “especiales” o “peligrosos” como los denomina nuestra legislación y algunos de los de tipo doméstico o no peligrosos, también llamados asimilables a los domésticos o urbanos

Los residuos generados en Laboratorios Universitarios de la especialidad de Petróleo, no son fácilmente gestionables utilizando los circuitos establecidos, que en realidad están diseñados para los residuos de origen industrial con grandes volúmenes y poca diversidad. En los laboratorios, el volumen de residuos es mucho

menor por lo que se los considera bajo el marco de residuos tóxicos en pequeña cantidad.

2.5 GESTIÓN DE RESIDUOS EN UN LABORATORIO UNIVERSITARIO

Las actividades que se desarrollan en un Laboratorio Universitario, generan residuos que pueden impactar al ambiente. La mitigación de dicho impacto se puede llevar a cabo a partir de la ejecución de un plan de gestión de residuos. Se entiende por Gestión de Residuos al conjunto de actividades encaminadas para dar a los residuos tóxicos y peligrosos el destino final más adecuado a sus características.

La inclusión de un Plan de Gestión de Residuos en el esquema de organización de un Laboratorio Universitario, que permita una adecuada protección de la salud y del ambiente, es necesaria no solo para alcanzar condiciones de trabajo sino también una de las exigencias de aplicación en las llamadas buenas prácticas de laboratorio.

El Plan de Gestión debe aplicarse a todo tipo de residuos generados en el laboratorio, tanto los no peligrosos (asimilables a los domésticos) como a los peligrosos. Se deben incluir los reactivos caducados, los reactivos no caducados pero innecesarios, materiales contaminados y todos los materiales o productos que se hayan generado.

Todo Plan de Gestión se debe iniciar desde la generación del residuo, estudiando las causas que originaron el residuo, para tratar de minimizar la generación de residuos, ya sea reemplazo el uso de un reactivo por otro de menor contaminación y menor costo, es decir se debe optimizar la generación de residuos.

2.5.1 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS

Este tópico es un punto importante dentro de toda gestión ambiental no solo por razones de cuidado del ambiente sino también por razones de seguridad y económicas. Dicha minimización contempla los principales conceptos generales aplicados a la industria:

- Minimización de materias primas, productos e insumos
- Modificación de procesos y tecnologías de producción obsoleta
- Adopción de procesos y tecnologías de producción, tratamiento y disposición menos contaminantes

- Incentivo al reciclado, reutilización y recuperación de materiales y productos
- Incentivo a la segregación o separación en origen

En el caso de un laboratorio universitario, esto podría aplicarse, por ejemplo, en la fase de diseño del protocolo experimental o práctica de laboratorio o ensayo, sustituyendo o minimizando los residuos peligrosos por otros de menor riesgo para la salud y la seguridad.

Existen actualmente técnicas analíticas cada vez más sensibles que permiten utilizar cantidades pequeñas de reactivos en experimentos de laboratorio. Otra posibilidad es el trabajo a micro escala en los experimentos de síntesis. También es de gran importancia, al momento de minimizar residuos, el hecho de tener un stock ajustado de reactivos para minimizar su generación por los reactivos caducados.

En la minimización, debe plantearse la posibilidad de tratamiento in situ como una forma de reducción de la peligrosidad y la reutilización de los residuos de un proceso como materia prima de otros procesos, siempre y cuando se disponga de las instalaciones y personal adecuado. Superadas estas etapas, se plantea la eliminación de los residuos producidos y no reutilizables.

Para la eliminación y correcto tratamiento de los residuos peligrosos generados en el laboratorio, es necesario observar ciertas normas que garanticen la seguridad de todos los implicados en la cadena de generación de los mismos, es decir los productores (docentes, alumnos, investigadores), manipuladores, transportistas, gestores o tratadores. Es importante la entrega al gestor autorizado, del residuo en óptimas condiciones para su posterior tratamiento o disposición final.

Para poder realizar un plan de gestión que contemple las acciones desde el momento de la producción del residuo hasta su entrega a la empresa gestora, deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- Clasificación de los residuos
 - Estudio de actividades
 - Clasificación
 - Selección de grupos
- Mecánica de funcionamiento de la recogida selectiva o Tipos de envases
 - Etiquetado e identificación de los envases
 - Almacenamiento temporal

- Normas de seguridad a observar por los manipuladores
 - Incompatibilidades entre sustancias
 - Manipulación, transporte y almacenamiento

2.5.2 ETAPAS DE LA GESTION DE RESIDUOS PELIGROSOS

En el proceso de identificación de los problemas existentes a lo largo del ciclo de vida se tiene en cuenta aquellos problemas asociados a la generación, recolección, segregación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final, según el estado del ciclo de vida del tipo de desecho sólido identificado en la entidad.

Las siguientes etapas se consideran para un adecuado manejo de residuos peligrosos:

1. Se recogen las razones que lo provocan.
2. La cobertura de información existente para apoyar la actividad de gestión y manejo de los desechos sólidos, el conocimiento y la aplicación de la Legislación Ambiental vigente y las normativas para el manejo de estos. Violaciones y no conformidades de las normas establecidas así como de las buenas prácticas.
3. Se identifican los responsables del manejo de los desechos sólidos y los participantes en el proceso de manejo.
4. Se identifican los medios de protección personal, los medios de trabajo y la frecuencia o programa de trabajo de los implicados en el manejo.
5. Se identifican las acciones de coordinación interdepartamental, o entre áreas de generación, así como los procedimientos legales y contractuales que tienen que ver con el manejo.
6. Se tiene en cuenta todas las actividades de planificación, coordinación, estrategias y recursos materiales y financieros para la ejecución del manejo
7. Una buena gestión de los Residuos Peligrosos empieza por llevar a cabo un envasado, etiquetado y almacenamiento correctos dentro de las propias instalaciones donde se generan. Posteriormente, alcanzada una cantidad adecuada y siempre antes de seis meses, se entregan al gestor autorizado.
8. Son obligaciones de los generadores de residuos peligrosos:
 - No mezclar los residuos peligrosos.
 - Envasar y etiquetar los recipientes que contengan residuos peligrosos

- Llevar un registro, en el libro que entrega el Servicio Territorial, de los residuos peligrosos producidos
- Suministrar a las empresas autorizadas para llevar a cabo la gestión de residuos, la información necesaria para su adecuado tratamiento y eliminación
- Informar inmediatamente al Dirección Ejecutiva de salud Ambiental de la Región o departamento en caso de cualquier incidente (desaparición, pérdida o escape de residuos peligrosos).

2.5.3 GESTIÓN DE LOS EQUIPOS Y PROVEEDORES

Establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya la inspección y limpieza periódica de los equipos de laboratorio, según las recomendaciones establecidas por el fabricante. Se evitarán así limpiezas innecesarias que contribuirán a generar nuevos residuos.

Separar en origen los residuos que se generen en las diferentes actividades de los ensayos. La mezcla de residuos peligrosos está prohibida. Establecer acuerdos con los suministradores de materias primas para que sean ellos los que se encarguen de los envases, de modo que puedan ser reutilizados y no se conviertan en un residuo peligroso una vez agotado el producto.

CAPITULO III

MARCO LEGAL

La Constitución Política Peruana de 1993, reconoce el derecho a un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida; además, en el Régimen Económico se hace referencia a las condiciones para el aprovechamiento de los recursos naturales.

3.1 POLITICA AMBIENTAL GENERAL

La política ambiental se inserta dentro de las políticas públicas, que constituyen declaraciones o interpretaciones generales que guían o encauzan el pensamiento de los actores para la toma de decisiones. La Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), tiene como virtudes el hacer un tratamiento sistemático de los instrumentos de gestión ambiental, refuerza las funciones de la Autoridad Ambiental, que fueron establecidas en el Código del Medio Ambiente, en el campo del control, fiscalización y sanción; asimismo, da un mejor tratamiento a la prevención de los daños y a la responsabilidad por los mismos.

La Ley General del Ambiente, precisa en el artículo I del Título Preliminar que “Toda persona tiene el derecho irrenunciable a gozar de un ambiente saludable y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país”

El Ministerio del Ambiente es el organismo del Poder Ejecutivo, cuya función general es diseñar, establecer, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial ambiental, asumiendo la rectoría con respecto a ella. El objeto del Ministerio del Ambiente es la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable, racional y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana, en permanente armonía con su entorno, y así asegurar a las presentes y futuras generaciones el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida.

La actividad del Ministerio del Ambiente comprende las acciones técnico-normativas de alcance nacional en materia de regulación ambiental, entendiéndose

como tal el establecimiento de la política, la normatividad específica, la fiscalización, el control y la potestad sancionadora por el incumplimiento de las normas ambientales en el ámbito de su competencia, la misma que puede ser ejercida a través de sus organismos públicos correspondientes.

3.2 LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

La Ley N°27314-Ley general de Residuos Sólidos y su modificatoria, el D. Ley. 1065; así como el D.S. 057-2004-PCM Reglamento de la Ley General, se enmarca dentro de la Política Nacional del Ambiente y los principios establecidos en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

La gestión y manejo de los residuos sólidos se rige especialmente por los siguientes lineamientos de política, que podrán ser exigibles programáticamente, en función de las posibilidades técnicas y económicas para alcanzar su cumplimiento:

1. Desarrollar acciones de educación y capacitación para una gestión y manejo de los residuos sólidos eficiente, eficaz y sostenible.
2. Adoptar medidas de minimización de residuos sólidos en todo el ciclo de vida de los bienes y servicios, a través de la máxima reducción de sus volúmenes de generación y características de peligrosidad.
3. Establecer un sistema de responsabilidad compartida y de manejo integral de los residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, a fin de evitar situaciones de riesgo e impactos negativos a la salud humana y el ambiente, sin perjuicio de las medidas técnicamente necesarias para el manejo adecuado de los residuos sólidos peligrosos. Este sistema comprenderá, entre otros, la responsabilidad extendida de las empresas que producen, importan y comercializan, bienes de consumo masivo y que consecuentemente, contribuyen a la generación de residuos en una cantidad importante o con características de peligrosidad.
4. Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado.
5. Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.

6. Establecer gradualmente el manejo selectivo de los residuos sólidos, admitiendo su manejo conjunto por excepción, cuando no se generen riesgos sanitarios o ambientales significativos.
7. Establecer acciones orientadas a recuperar las áreas degradadas por la descarga inapropiada e incontrolada de los residuos sólidos.
8. Promover la iniciativa y participación activa de la población, la sociedad civil organizada y el sector privado en la gestión y el manejo de los residuos sólidos.
9. Fomentar la formalización de las personas, operadores y demás entidades que intervienen en el manejo de los residuos sólidos sin las autorizaciones correspondientes, teniendo en cuenta las medidas para prevenir los daños derivados de su labor, la generación de condiciones de salud y seguridad laboral, así como la valoración social y económica de su trabajo.
10. Armonizar las políticas de ordenamiento territorial y las de gestión de residuos sólidos, con el objeto de favorecer su manejo adecuado, así como la identificación de áreas apropiadas para la localización de infraestructuras de residuos sólidos, tomando en cuenta las necesidades actuales y las futuras, a fin de evitar la insuficiencia de los servicios.
11. Fomentar la generación, sistematización y difusión de información para la toma de decisiones y el mejoramiento de la gestión y el manejo de los residuos sólidos.
12. Definir planes, programas, estrategias y acciones transectoriales para la gestión de residuos sólidos, conjugando las variables económicas, sociales, culturales, técnicas, sanitarias y ambientales.
13. Priorizar la prestación privada de los servicios de residuos sólidos, bajo criterios empresariales y de sostenibilidad.
14. Asegurar que las tasas o tarifas que se cobren por la prestación de servicios de residuos sólidos se fijen, en función de su costo real, calidad y eficacia, asegurando la mayor eficiencia en la recaudación de estos derechos, a través de cualquier mecanismo legalmente permitido, que sea utilizado de manera directa o a través de tercero.
15. Establecer acciones destinadas a evitar la contaminación ambiental, eliminando malas prácticas de manejo de residuos sólidos que pudieran afectar la calidad del aire, las aguas, suelos y ecosistemas.

16. Promover la inversión pública y privada en infraestructuras, instalaciones y servicios de manejo de residuos.

Además las municipalidades tienen las siguientes responsabilidades:

La gestión de residuos sólidos requiere recursos, desde los humanos los cuales merece una fortalecimiento de capacidades humanas a en todo nivel, hasta los recursos presupuestales para hacerlos realidad. Con el artículo 155° de esta nueva norma en propuesta, el Estado pone su interés en la promoción de la inversión pública así como en la investigación y otorga el uso del canon en la construcción de infraestructura así como a partir de los proyectos de responsabilidad social del sector privado. Sin duda instrumentos importantes que coadyuvaran a mejorar la situación.

3.3 REGLAMENTO DE LA LEY N° 27314, LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

El Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos. En el Título III: Manejo de Residuos Sólidos, Capítulo III: Residuos Sólidos del Ámbito de Gestión no Municipal, artículo 24 nos dice: “Los residuos del ámbito de gestión no municipal son aquellos de carácter peligroso y no peligroso, generados en las áreas productivas e instalaciones industriales o especiales. No comprenden aquellos residuos similares a los domiciliarios y comerciales generados por dichas actividades.

Estos residuos son regulados, fiscalizados y sancionados por los ministerios u organismos reguladores correspondientes. Y cuyas obligaciones del generador son las siguientes:

1. Presentar una Declaración de Manejo de Residuos Sólidos a la autoridad competente de su sector, de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 114° del Reglamento;
2. Caracterizar los residuos que generen según las pautas indicadas en el Reglamento y en las normas técnicas que se emitan para este fin;
3. Manejar los residuos peligrosos en forma separada del resto de residuos;
4. Presentar Manifiesto de Manejo de Residuos Peligrosos a la autoridad competente de su sector de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 115° del Reglamento;

5. Almacenar, acondicionar, tratar o disponer los residuos peligrosos en forma segura, sanitaria y ambientalmente adecuada, conforme se establece en la Ley, el Reglamento y, en las normas específicas que emanen de éste;
6. Ante una situación de emergencia, proceder de acuerdo a lo señalado en el artículo 36° del Reglamento;
7. Brindar las facilidades necesarias para que la Autoridad de Salud y las Autoridades Sectoriales Competentes puedan cumplir con las funciones establecidas en la Ley y en el presente Reglamento.
8. Cumplir con los otros requerimientos previstos en el Reglamento y otras disposiciones emitidas al amparo de éste; y

3.4 REGLAMENTO PARA LA PROTECCION AMBIENTAL EN LAS ACTIVIDADES DE HIDROCARBUROS

En los últimos veinte años la eliminación de desechos peligrosos ha surgido como uno de los principales temas de carácter ambiental. Las prácticas deficientes de manejo de desechos han motivado seria preocupación entre el público con respecto a la contaminación de fuentes de agua potable, la destrucción de los hábitat para la fauna, así como los efectos nocivos para la agricultura y ganadería.

En respuesta a estos temores el Gobierno del Perú promulgó el Decreto Supremo N° 046-93-EM. , en noviembre de 1993, aprobando el “Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos”, denominado de aquí en adelante RPAAH. Esta norma fue la primera que delineó específicamente los requerimientos ambientales de los proyectos petroleros. Otras leyes y normas, por ejemplo, la "Ley General de Aguas", también tienen aplicación en dichos proyectos, pero de una forma indirecta.

El Título XI del Reglamento resume las consecuencias del incumplimiento de las disposiciones de dicho reglamento. Además de la imposición de una multa, las infracciones más graves pueden resultar en:

- La prohibición o restricción de la actividad que causó la infracción.
- La obligación de compensar a los afectados por la infracción.
- Restauración inmediata de la zona.

Los casos de reincidencia darán lugar a sanciones más severas, que posiblemente conduzcan al cierre total del emplazamiento por reincidir en incumplimiento. Las multas se fijarán debido a diversas razones:

- Exceder los límites de emisión estipulados.
- No realizar el monitoreo de emisiones/pérdidas.
- No presentar los informes de monitoreo.
- Importar y almacenar productos contaminados y desechos, cuyo uso sería prohibido en su país de origen.

El efecto combinado de la legislación, la presión pública para ser más responsables desde el punto de vista del medio ambiente y una creciente carga económica ha llevado a la mayor parte de la industria petrolera a la conclusión de que es preferible mostrar iniciativa en este aspecto. Un control de desechos responsable es una práctica comercial recomendable.

El control de desechos abarca todos los aspectos del problema de desechos industriales, como la minimización a través de la reducción, re-uso, reciclaje y recuperación; almacenamiento, transporte, destrucción y eliminación del desecho residual; instalación, operación y mantenimiento de las instalaciones de manipulación/ tratamiento/eliminación de desechos en el emplazamiento; cierre eventual de dichas instalaciones, incluso la limpieza y recuperación del emplazamiento industrial propiamente dicho.

Es necesario observar los siguientes principios:

1. Conocer la ley y los reglamentos con respecto al control de desechos, así como cumplirlos o superarlos en letra y espíritu.
2. Trabajar activamente para asistir a los gobiernos en la elaboración de reglamentos, legislación y políticas de carácter público que rijan el control de desechos.
3. Proporcionar información sobre los riesgos asociados a desechos peligrosos y operaciones de control de desechos a los empleados, contratistas, otras personas en el lugar y a aquéllos en la comunidad que muestren interés al respecto.
4. Controlar los desechos de tal manera que se proteja a la gente y al medio ambiente: Reduciendo al mínimo la generación de desechos, convirtiendo los

desechos peligrosos en desechos inofensivos mediante su destrucción o tratamiento, eliminación de una manera segura cuando no sea factible la destrucción/tratamiento.

5. Mantener el monitoreo adecuado de los lugares de eliminación de desechos, existentes y anteriores, con el fin de garantizar que la compañía, el gobierno y el público sean conscientes de los peligros potenciales de los emplazamientos.

3.5 PLAN DE CONTROL DE DESECHOS

Los Artículos 10d y 17 del RPAAH estipulan que cada instalación tendrá un Plan de Manejo Ambiental detallado, cuyo propósito consiste en evitar que las emisiones excedan los límites indicados en el reglamento. Un segmento sumamente importante de este Plan aborda el problema de los desechos.

El plan de control de desechos deberá constar de varios componentes, entre los cuales citamos:

1. Una sección administrativa que establezca las políticas y procedimientos de la compañía y el personal (sus funciones y responsabilidades) que dirigirá y llevará el plan a la práctica.
2. Un procedimiento para identificar las fuentes de desechos, su magnitud y una clasificación de los peligros.
3. Un plan para reducir al mínimo la producción de desechos. Deberán considerarse en este plan el empleo de tecnologías limpias, la optimización de las unidades existentes con respecto a la generación de desechos y la institución de un "Programa de las Cuatro Rs". Promover activamente la participación de los empleados en este proceso. Establecer objetivos de reducción de desechos.
4. Establecimiento de instalaciones seguras de almacenamiento.
5. Un procedimiento para determinar el método óptimo de manipulación de desechos. Los factores que han de considerarse para la elección de una tecnología incluyen el volumen de desechos, costos, beneficios económicos potenciales, impacto ambiental. Si se selecciona instalaciones exteriores de tratamiento/eliminación, deberán aplicarse procedimientos in situ que garanticen el cumplimiento de todos los reglamentos para transporte y que todas las instalaciones exteriores cuenten con la autorización para recibir desechos.
6. La institución de un programa de monitoreo y prueba que determine la eficiencia de los procedimientos de manipulación de desechos y proporcione información a

las entidades gubernamentales requeridas y al público. Los costos relacionados con los desechos son importantes variables que deben someterse a monitoreo.

7. Preparación de un programa de imprevistos con respuesta de emergencia para contingencias, que resuma las funciones que ha de cumplir el personal del emplazamiento y de las instalaciones exteriores.

CAPITULO IV

LABORATORIO DE ANALISIS DE NUCLEOS

El petróleo y gas que se encuentra en el subsuelo se origina por la descomposición de la materia orgánica de origen vegetal y animal dentro de una roca sedimentaria llamada roca Madre, la cual bajo ciertas condiciones de presión, temperatura y factores biológicos da origen a los hidrocarburos. Estos hidrocarburos luego migran hacia una roca llamada roca reservorio que reúna características de porosidad o almacenamiento, comunicación de fluidos y distribución de los mismos.

Determinar estas características nos permitirá evaluar el volumen de hidrocarburos presentes, así como condiciones existentes para el posterior diseño del método de extracción y su capacidad de producción.

Para determinar dichas características se tiene que extraer muestras del reservorio durante la perforación de los pozos y evaluarlas mediante ensayos de laboratorio. El uso de los diferentes métodos, tipos de reactivos y materiales a usarse depende:

- Primero, de las características granulométricas de las arenas, materiales accesorios, metales pesados, contenidos de arcillas, calizas y características de sedimentación de la roca reservorio y,
- Segundo, de las características físico químicas de los fluidos presentes en dicha roca reservorio como son viscosidad, temperatura, densidad, miscibilidad, contenido de sales, agua y sedimentos, etc.

El estudio está basado en la descripción de los procedimientos para cada ensayo, identificación y clasificación de los residuos generados, así como métodos para evaluar los aspectos de la Gestión y manejo de estos residuos.

4.1 IMPORTANCIA DEL LABORATORIO DE ANALISIS DE NUCLEOS EN LA INDUSTRIA DEL PETROLEO

La exploración para localizar hidrocarburos se inicia con un entendimiento de la Geología Regional, lo cual se complementa con la interpretación sísmica detallada de la zona para proporcionar el modelo conceptual de un yacimiento potencial, es decir, de una estructura geológica en la cual pudieran existir hidrocarburos.

Luego a continuación se perforan pozos exploratorios y las preguntas que surgen inmediatamente son:

- ¿Hay hidrocarburos presentes?
- ¿Los hidrocarburos son aceite, gas o ambos?
- ¿Cuál es el volumen de los hidrocarburos?
- ¿En qué porcentaje podrán ser producidos?
- ¿Cuáles son los riesgos técnicos y financieros asociados con el desarrollo del campo?
- ¿Cuáles son las posibilidades reales de lograr el éxito comercial?

Un elemento básico para poder dar respuestas fundamentadas a estas preguntas, consiste en cuantificar las propiedades relevantes tanto de las rocas, como de los fluidos que éstas contienen, además de integrar e interpretar los datos resultantes en términos de la viabilidad técnica y financiera del proyecto de desarrollo. A esta labor se le designa en forma abreviada como “Evaluación de Formaciones”, y a la disciplina que se encarga de ello se le conoce actualmente en forma genérica como “Petrofísica”.

Más formalmente, el término “Evaluación de Formaciones” aplicado a un yacimiento petrolero puede enunciarse como *“La práctica de usar información obtenida del fondo del pozo, de muestras de roca y de fluido que se extraen del mismo, para determinar la extensión del área, el espesor, la litología, la porosidad, la saturación de hidrocarburos y la permeabilidad del yacimiento”*.

Por otra parte, para poner en contexto el significado del término “Petrofísica”, la literatura especializada ha adoptado en forma unánime dos definiciones que son atribuidas a Archie (Archie, G. 1950; Archie, G. 1960), y que en forma abreviada, puede decirse que la ***Petrofísica es la ciencia y el arte de medir y estudiar las propiedades físicas y químicas de las rocas y de sus interacciones con gases, hidrocarburos líquidos y soluciones acuosas***, por consiguiente, la petrofísica es la ciencia o disciplina de la evaluación de formaciones.

En las etapas iniciales del desarrollo de un campo, la información preliminar de que se dispone acerca de un yacimiento potencial, se ajusta con la incorporación de datos petrofísicos en un modelo del yacimiento, mediante el cual se cuantifica el tamaño del mismo, se define la distribución de los hidrocarburos y se predice la recuperación potencial de éstos.

El profesional de la petrofísica tiene a su cargo planificar e implementar la adquisición oportuna de datos, para cuantificar las propiedades de la formación. La determinación exacta de estas propiedades, reduce la incertidumbre en el desarrollo del campo, e incrementa la confianza de que el desarrollo será exitoso comercialmente. Sin embargo, las aplicaciones petrofísicas no están limitadas solamente a la evaluación inicial del recurso, sino que se adquieren y analizan datos adicionales del pozo a través de toda la vida del campo, dado que las propiedades de la formación cambian con el tiempo. Esta información adicional ayuda a ajustar la predicción acerca del comportamiento del campo y conduce a mejores oportunidades de desarrollo para los hidrocarburos remanentes.

El profesional en petrofísica está involucrado con cada disciplina de la tecnología del subsuelo y trabaja muy de cerca con geofísicos exploradores e ingenieros petroleros, como parte de un grupo integrado que administra yacimientos de aceite y de gas. El grupo de trabajo incluye también a geólogos, quienes formalizan la estructura del yacimiento; a ingenieros de yacimientos, quienes evalúan los posibles escenarios para la producción de los hidrocarburos; y a tecnólogos en producción, quienes se encargan de asegurar el buen desarrollo de los pozos durante la vida del yacimiento. La meta del grupo multidisciplinario de trabajo es maximizar la recuperación de hidrocarburos a niveles favorables de costo.

4.1.1 FUENTES DE DATOS PETROFÍSICOS PARA LA EVALUACIÓN DE FORMACIONES

Los modelos de las formaciones que potencialmente constituyen yacimientos de hidrocarburos, se desarrollan sobre la base de datos sísmicos y geológicos. Inicialmente hay incertidumbre en el modelo y aún no se sabe si la formación contiene hidrocarburos. La perforación de un pozo exploratorio continúa siendo la única manera de confirmar la presencia de aceite y de gas.

Una vez que se perfora un pozo exploratorio, el profesional en petrofísica puede cuantificar e integrar las propiedades de la formación, a partir de la siguiente variedad de fuentes de información, que son posibilitadas precisamente por la disponibilidad del pozo:

- Registros de operaciones de perforación (Mudlogging)
 - ✓ Análisis de recortes de perforación.
 - ✓ Detección de gases producidos.

- ✓ Registro de datos de la perforación.
- Registros de pozo (Wireline Logging)
 - ✓ Registro de rayos gama naturales.
 - ✓ Registro de rayos gama emitidos (densidad total).
 - ✓ Registro de neutrones (porosidad).
 - ✓ Registro de resistividad eléctrica (saturación de fluidos).
 - ✓ Registro sónico (porosidad, litología, impedancia acústica).
 - ✓ Registro de imagen del agujero (identificación de espesor y litología)
- Análisis de núcleos
 - ✓ Análisis básicos o rutinarios en muestras tapón y de diámetro completo.
 - ✓ Análisis especiales en muestras tapón y de diámetro completo.
 - ✓ Análisis básicos en muestras de pared.
 - ✓ Análisis geológicos: petrografía, mineralogía, sedimentología, rayos-X.
- Pruebas de producción

4.1.2 EL ANÁLISIS DE NÚCLEOS EN LA EVALUACIÓN DE FORMACIONES

La recuperación y el análisis de núcleos son solamente algunas de las muchas partes integrantes de la evaluación de formaciones, por lo que el término petrofísica tiene un significado mucho más amplio que el concepto análisis de núcleos, el cual debe limitarse en su empleo para referirse exclusivamente a las mediciones y estudios de laboratorio que se efectúan en muestras de roca.

Dentro del ámbito de la evaluación de formaciones, se utiliza más apropiadamente el término caracterización de rocas, para referirse exclusivamente a la ciencia y el arte de obtener datos acerca de las propiedades físicas y químicas de éstas, ya sea secas o saturadas total o parcialmente con fluidos, a partir de mediciones directas de laboratorio que se efectúan en muestras de diversos tipos, como pueden ser muestras tapón y de diámetro completo que se extraen de los núcleos de perforación, o bien muestras de pared y recortes de perforación que se obtienen de diferente manera.

El análisis de núcleos continúa siendo hoy en día, la piedra angular sobre la que descansa la evaluación de formaciones en su conjunto, ya que proporciona información relevante, cuya obtención no es posible por ningún otro medio. De esta manera, las mediciones de laboratorio en muestras de roca ofrecen los medios más directos y tangibles para determinar los parámetros críticos del yacimiento.

Los datos acerca de las propiedades de las rocas que se obtienen mediante el análisis de núcleos, son utilizados principalmente para dos aplicaciones:

1. En primer lugar, para calibrar y refinar la interpretación de los registros de pozos. Un gran número de parámetros que son determinados a partir de estos registros, tales como la densidad total, la porosidad, la resistividad eléctrica y la velocidad de las ondas acústicas P y S, también pueden medirse en el laboratorio bajo condiciones muy bien controladas en muestras tomadas de un núcleo, generándose así datos de muy alta calidad, con los cuales pueden calibrarse los registros de pozo.
2. En segundo lugar, los análisis de laboratorio en muestras de núcleos de perforación, se emplean para determinar propiedades y parámetros de la formación que no pueden obtenerse mediante los registros de pozo, ni por ningún otro medio. En este grupo se encuentran, por ejemplo, la permeabilidad, las presiones capilares, las permeabilidades relativas, el exponente de saturación, la eficiencia de la recuperación de hidrocarburos, la mojabilidad, la compresibilidad del volumen de poros y varios parámetros relativos al comportamiento mecánico de la formación.

4.1.3 IMPORTANCIA DE LOS ANÁLISIS DE NÚCLEOS EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

El análisis de núcleos constituye una fuente mayor de información para los exploradores y los ingenieros petroleros en los estudios de localización, evaluación y desarrollo de los yacimientos. Los datos que se obtienen de este análisis, proporcionan evidencia concluyente y positiva de la existencia de hidrocarburos, de la capacidad de la formación en su función de recipiente de almacenamiento de los fluidos (porosidad), así como de su capacidad para permitir el flujo de los fluidos bajo un gradiente de presión aplicado (permeabilidad, conductividad hidráulica). Asimismo, los datos de saturación residual de los fluidos que se miden una vez que el núcleo se tiene en superficie, permiten hacer predicciones de la probable producción de aceite, gas o agua.

Los resultados del análisis de núcleos son sumamente útiles para entender el comportamiento del yacimiento, evaluar la respuesta de los pozos a diferentes tipos de tratamientos, calibrar los registros de pozo, establecer una base robusta para

modelar el yacimiento y estimar su potencial, así como para definir estrategias efectivas para su desarrollo.

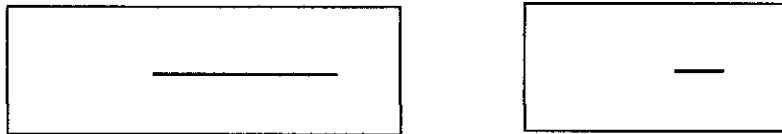
Los núcleos son una muestra continua de roca, que se obtiene de la formación mediante perforación con una barrena especial hueca, la cual es capaz de cortar tramos de roca de hasta 20 m de longitud con un diámetro máximo de 20 cm. Estos tramos cilíndricos son llevados a la superficie para su posterior análisis.

Una de las muchas ventajas de los núcleos es que permiten efectuar la caracterización geológica continua de la formación. Dependiendo del grado de heterogeneidad del núcleo, puede optarse por efectuar las mediciones en muestras cuyo diámetro es el mismo del núcleo (muestras de diámetro completo), o en muestras de menor tamaño que se extraen del núcleo mediante barrenas, usualmente con orientaciones diferentes al eje de éste (muestras tapón).

4.2 PROPIEDADES PETROFISICAS DE LA ROCA RESERVORIO

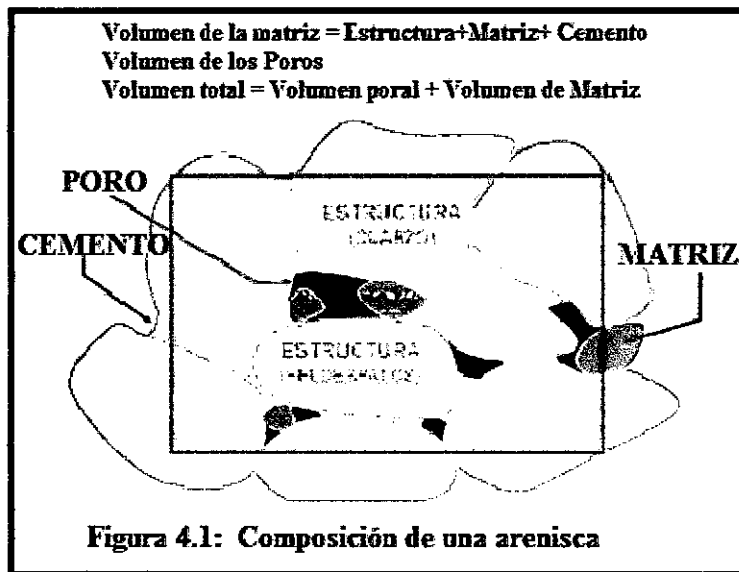
4.2.1 POROSIDAD

Para la Ingeniería de yacimientos, la porosidad es la medida del espacio disponible en la roca reservorio como almacenaje de hidrocarburos. Se le expresa como la relación del espacio vacío dentro de la roca al volumen total de ella, multiplicada por 100, para expresarla en tanto por ciento. Ver figura 4.1



Donde:

- Vb: es el volumen total o volumen bruto
- Vn: es el volumen neto de los granos
- Vp: es el volumen poroso



4.2.1.1 TIPOS DE POROSIDAD

La porosidad puede ser clasificada de dos formas:

1. Según su Origen Geológico y tiempo de deposición
2. Según la Comunicación de los poros

1. Según su origen geológico

Se clasifica en: Porosidad original o primaria y Porosidad inducida o secundaria

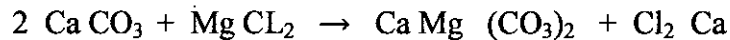
a. La Porosidad Original o Primaria.- es la que se desarrolló por la deposición del material sedimentario, por lo cual se le llama también “intergranular”.

b. La porosidad inducida o Secundaria.- es la causada por los procesos geológicos subsiguientes a la deposición del material sedimentario. La porosidad inducida se divide en:

b1. Porosidad por disolución.- En la cual los espacios vacíos se han formado por la acción del agua, sea esta proveniente de la superficie, del subsuelo o de la acción de ciertos ácidos orgánicos, sobre las porciones solubles de las rocas que se encuentran en contacto con ella.

b2. Porosidad de fracturas y fisuras.- que se ha originado por alguna forma de diastrofismo, como plegamientos y fallas. Este tipo de porosidad es muy difícil de evaluar, debido a su irregularidad.

b3. Porosidad por dolomitización.- que es la que se ha desarrollado por la transformación de las calizas ($\text{CO}_3 \text{Ca}$) en dolomita, $\text{Ca.Mg.}(\text{CO}_3)_2$ mediante la siguiente reacción .



No obstante que las calcitas y calizas son más solubles que las dolomitas, éstas últimas son más porosas debido al ordenamiento de sus cristales.

2. Según la comunicación de los poros

- Absoluta o Total:** Fracción del volumen total de la roca que no está ocupado por material denso o matriz.
- Efectiva:** Fracción del volumen total de la roca que está compuesto por espacios porosos que se hallan comunicados entre sí.
- Porosidad no interconectada o no efectiva:** es aquella que representa la fracción del volumen total de la roca que está conformada por los espacios que pueden contener fluidos pero no están comunicados

La porosidad total siempre va a ser mayor o igual a la efectiva. Para el ingeniero de yacimientos la porosidad más importante es la efectiva, pues constituye los canales porosos interconectados, lo que supone que puede haber importantes saturaciones de hidrocarburos en dichos espacios. Ver figura 4.2

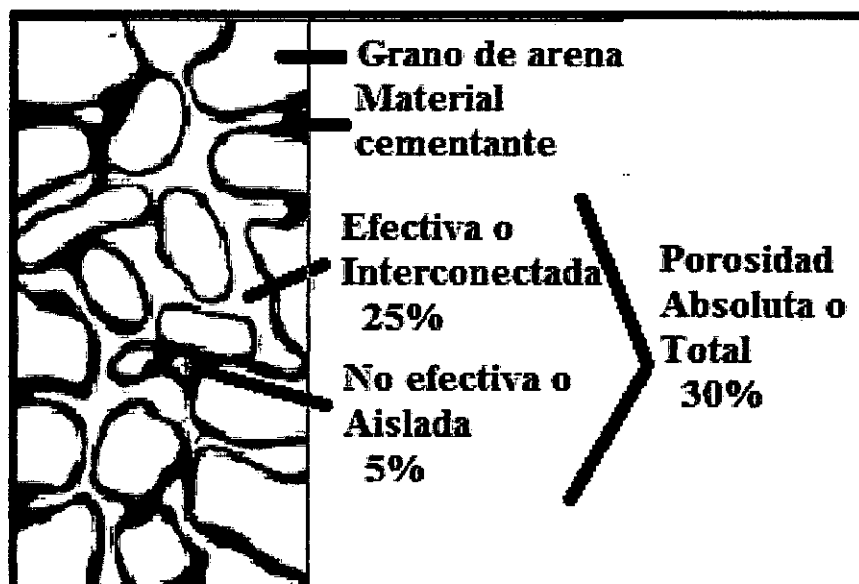


Figura 4.2: Porosidad según la comunicación de los poros.

La porosidad es considerada como:

TIPO DE POROSIDAD	RANGO DE POROSIDAD
Muy Baja	Cuando es $\leq 5\%$
Baja cuando	Cuando es $>5\%$ pero $\leq 10\%$
Moderada	Cuando es $>10\%$ pero $\leq 15\%$
Buena	Cuando es $> 15\%$ pero $\leq 20\%$
Muy Buena	Cuando es $>20\%$ pero $\leq 25\%$
Excelente	Cuando $>25\%$

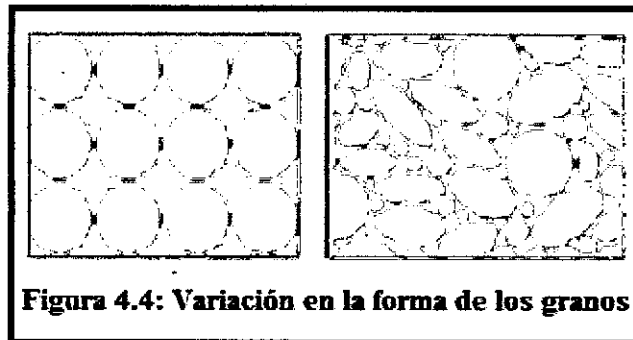
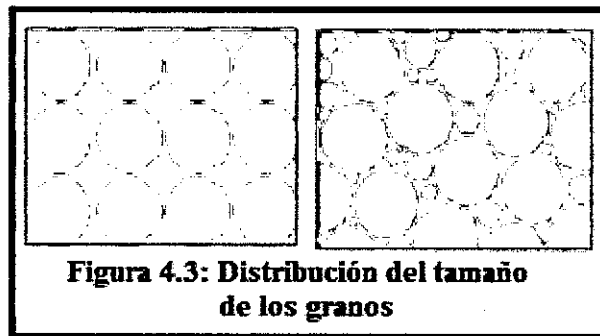
4.2.1.2 FACTORES GEOLOGICOS QUE AFECTAN LA POROSIDAD

Los valores típicos de la porosidad de una arenisca consolidada y limpia es alrededor de 20%, y para calizas y dolomitas es de 6 a 8 %. Estos valores se encuentran afectados en el subsuelo por los siguientes factores:

- Tipo de empaque: es la forma en que los granos de arena se agrupan. Si todos los granos son esféricos el sistema es ideal. La porosidad se reduce cuando la forma y el tamaño de los empaque no es uniforme. El tipo de empaque ideal puede ser cúbico, ortorrómbico, tetragonal esfenoidal, rombohedral, etc.
- Presencia de material cementante: los granos que conforman la matriz de la roca se encuentran unidos entre si por material cementante, el cual se encuentra compuesto principalmente por sílice, carbonato de calcio y arcilla. La presencia de material cementante afecta la firmeza y compactación de la roca, por lo tanto afecta la porosidad de la misma. A medida que aumenta la cantidad de material cementante, la porosidad del sistema disminuye, debido a que este material se aloja en los espacios disponibles para la acumulación de los fluidos. Por esta razón, la porosidad de arenas no consolidadas (las cuales presentan poca cantidad de material cementante) es mucho mayor que la porosidad de arenas altamente consolidadas o compactadas.
- Geometría y distribución del tamaño de los granos: dependiendo del ambiente depositacional en el cual se originó la roca, los granos que conforman la roca presentarán una determinada *distribución en su tamaño*. Esta variación en el tamaño de los granos se conoce como encogimiento. Cuando la distribución

del tamaño de los granos de una roca es homogénea se tiene buen encogimiento y la porosidad es alta. A medida que aumenta la heterogeneidad en el tamaño de los granos, la porosidad de la roca disminuye.

La forma de los granos es un factor importante que afecta la porosidad de las rocas. Un sistema compuesto por granos perfectamente redondeados presentará una porosidad mayor que un sistema formado por granos alargados o no redondeados. Los cambios en los granos se deben a procesos de compactación y diagénesis. Ver figuras 4.3 y 4.4



- d) Presión de las capas supra yacentes: otro factor que afecta la porosidad es la *compactación mecánica* originada por la presión de sobrecarga, la cual es ejercida por el peso de las capas suprayacentes de la roca. A medida que aumenta la profundidad, la presión de sobrecarga ejercida por la columna de sedimentos aumenta, esto genera una fuerza que tiende a deformar los granos y reducir el volumen de espacios vacíos, por lo tanto se origina una reducción en la porosidad.

4.2.2 PERMEABILIDAD

En 1856, como resultado de estudio experimentales de flujo de agua a través de filtros de arena no consolidada, Henry Darcy dedujo la fórmula que lleva su

nombre. La ley se ha extendido, con ciertas limitaciones, al movimiento de otros fluidos, incluyendo dos o más fluidos no miscibles, en rocas consolidadas y otros medios porosos. La ley de Darcy no se aplica a flujo en canales porosos individuales, sino a partes de la roca de dimensiones razonablemente grandes comparadas con el tamaño de los canales porosos; en otras palabras, es una ley estadística que promedia el comportamiento de muchos canales porosos.

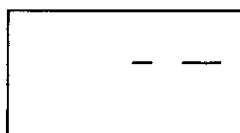
Es importante conocer y determinar la permeabilidad del reservorio ya que esta es considerada como una de las principales propiedades petrofísicas de la roca reservorio que permitirá el flujo de hidrocarburos a través del yacimiento hacia el pozo productor o durante la inyección de fluidos para la recuperación de petróleo.

4.2.2.1 DEFINICIÓN DE LA PERMEABILIDAD

La permeabilidad de una roca puede definirse como la propiedad de conductividad de los fluidos que contiene, es decir su habilidad de permitir el flujo a través de sus poros intercomunicados. Si los poros no tiene comunicación entre ellos, no habrá permeabilidad; de allí que exista una estrecha relación entre permeabilidad de una roca y la porosidad efectiva, pero no necesariamente con la porosidad absoluta.

4.2.2.2 LEY DE DARCY

La ley de Darcy enuncia que la velocidad de un fluido homogéneo en un medio poroso es proporcional al gradiente de presión, e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido, o:



V = velocidad aparente en, cm /seg. e igual a q/A , donde q es el caudal en $\text{cm}^3/\text{seg.}$, y A es el área de la sección transversal total o aparente de la roca en cm^2 . En otras palabras A incluye tanto el material sólido (esqueleto mineral) de la roca como también el área de los canales porosos.

μ = viscosidad del fluido, centipoises.

dp/ds = gradiente de presión, tomado en la misma dirección que q y v , en atm/m.

k = la constante de proporcionalidad, es la permeabilidad de la roca expresada en Darcys.

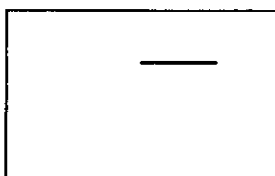
El signo negativo indica que si se toma el flujo positivo en la dirección positiva de s , la presión disminuye en esa dirección y la pendiente dp/ds es negativa.

La ley de Darcy se aplica solo en la región de flujo laminar. En flujo turbulento, que ocurre a altas velocidades, la gradiente de presión aumenta a un rate mayor que la del flujo. Afortunadamente, excepto en casos de muy altos rates de inyección o de producción en la vecindad del pozo, el flujo en el yacimiento y en la mayoría de pruebas hechas en el laboratorio es laminar y la ley de Darcy se cumple.

Debido a la propiedad de la roca, a la tortuosidad de las líneas de flujo y a la ausencia de flujo en algunos de los espacios porosos (incomunicados), la velocidad real de fluido varía de lugar a lugar dentro de la roca, y mantiene un promedio mucho más alto que la velocidad aparente. Como las velocidades reales no son medibles por lo general, y para mantener porosidad y permeabilidad independientes, las velocidades aparentes constituyen la base de la ley de Darcy. Es decir, la velocidad real promedio de avance de un fluido es la velocidad aparente dividida por la porosidad, cuando el fluido satura por completo la roca.

UNIDADES

La unidad de la permeabilidad (K) es el darcy, en honor a Henry Darcy. En las normas del Instituto Americano del Petróleo (API), la “ K ” se define como “el régimen de flujo en centímetros cúbicos por segundo de un fluido de un centipoise de viscosidad que pasa a través de una sección de un centímetro cuadrado de roca, bajo un gradiente de presión de una atmósfera (760 mm.Hg), en condiciones de flujo viscoso”. Como el darcy es una unidad bastante alta para la mayoría de las rocas productoras, la permeabilidad generalmente se expresa en milidarcys (0,001 darcy). Obviando el signo negativo en la ecuación y despejando la permeabilidad (K) se tiene:



4.2.2.3 TIPOS DE PERMEABILIDAD

PERMEABILIDAD ABSOLUTA: (K_{abs})

Es la medida de la permeabilidad, cuando un fluido homogéneo satura al 100% del espacio poroso de la roca.

PERMEABILIDAD EFECTIVA: (K_{ef})

La permeabilidad efectiva de una roca es la permeabilidad de la misma a un fluido particular cuando la saturación de este fluido en la roca es menor del 100%. La permeabilidad efectiva a una fase dada es menor que la permeabilidad absoluta y es función de la saturación de la fase.

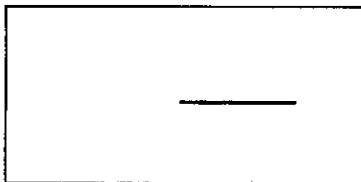
La sumatoria de las permeabilidades efectivas siempre es menor que la permeabilidad absoluta, debido a las siguientes razones:

- Algunos canales que normalmente permiten el flujo cuando existe una sola fase, son bloqueados cuando dos o más fases se encuentran presentes en el medio poroso, por ello, el número total de canales que permiten el flujo se reduce y la capacidad que tiene la roca de permitir el flujo de fluidos es menor.
- La presencia de interfases entre los fluidos que saturan el medio poroso, implican la presencia de tensiones interfaciales y presiones capilares, por lo tanto se generan fuerzas que tienden a disminuir la velocidad de flujo de los fluidos a través del medio poroso.



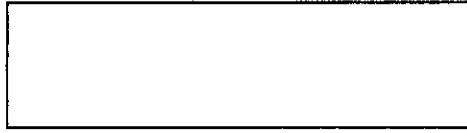
PERMEABILIDAD RELATIVA:

Es la razón de la permeabilidad efectiva a la permeabilidad absoluta. Si dos fluidos están presentes, tal como petróleo y agua, sus tasas relativas de flujo se determinan por sus viscosidades relativas y sus permeabilidades relativas. La razón de permeabilidad relativa varía con la razón de saturaciones de los fluidos que contiene la roca reservorio.



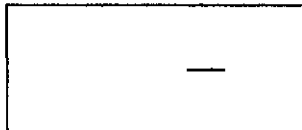
Donde:

- K_{rx} = Permeabilidad relativa de la fase x.
- K_x = Permeabilidad efectiva de la fase x.
- $(K)S_{x \max}$ = Permeabilidad efectiva de la fase x, medida a la saturación máxima de dicha fase.



4.2.3 SATURACIÓN DE FLUIDOS

La saturación de un medio poroso con respecto a un fluido se define como la fracción del volumen poroso de una roca que está ocupada por dicho fluido.



Donde:

- S_x = Saturación de la fase x
- V_x = Volumen que ocupa la fase x.
- V_t = Volumen poroso total de la roca.

La sumatoria de las saturaciones de todos los fluidos que saturan una roca, debe ser igual a 1. Si consideramos un medio poroso saturado por petróleo, agua y gas, tenemos:



Donde:

- S_o = Saturación de petróleo.
- S_w = Saturación de agua.
- S_g = Saturación de gas.

4.2.3.1 TIPOS DE SATURACIÓN

SATURACIÓN DE AGUA CONNATA (S_{wc})

La saturación de agua connata (S_{wc}) es la saturación de agua existente en el yacimiento al momento del descubrimiento, la cual se considera como el remanente del agua que inicialmente fue depositada con la formación y la cual

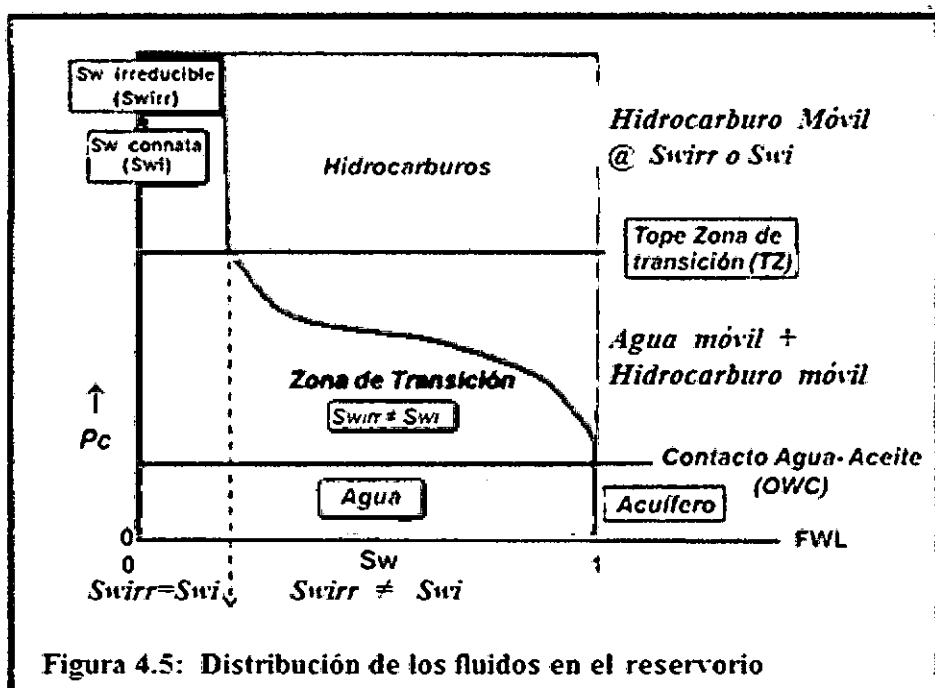
debido a la fuerza de la presión capilar existente, no pudo ser desplazada por los hidrocarburos cuando éstos migraron al yacimiento.

Generalmente la saturación de agua connata se considera inmóvil; sin embargo, al inyectar agua en un yacimiento, la primera que se produce tiene composición diferente a la inyectada, lo que indica que el agua connata es desplazada por la inyectada.

La determinación de la saturación inicial de agua se puede efectuar por tres diferentes métodos:

- Núcleos tomados en pozos perforados.
- Cálculos a partir de la presión capilar.
- Cálculo a partir de registros eléctricos.

Cuando no se tiene una zona de transición la Saturación de agua connata (S_{wi}) se puede considerar como la Saturación de agua irreducible (S_{wirr}) ya que es la cantidad de agua inicial presente en todo el yacimiento al momento de su descubrimiento y que debido a fuerzas (presiones) capilares no fue desplazada por el aceite o gas en el proceso de migración. Cuando se tiene una zona de transición la Saturación de agua connata (S_{wi}) es diferente a la Saturación de agua Irreducible (S_{wirr}), ya que esta es móvil desde el Contacto Agua - Petróleo hasta el tope de la zona de transición variando su porcentaje. Ver figura 4.5



SATURACIÓN DE PETRÓLEO RESIDUAL

La saturación de petróleo residual (S_{or}) corresponde a la saturación de petróleo que queda en el yacimiento en la zona barrida, después de un proceso de desplazamiento.

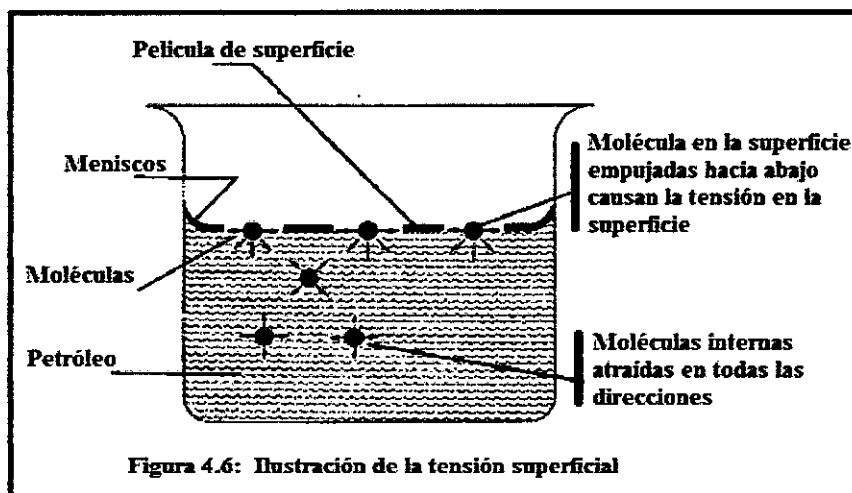
La saturación de petróleo residual también puede ser definida como la máxima saturación de petróleo a la cual permanece inmóvil (su permeabilidad relativa es cero).

4.2.4 PRESIÓN CAPILAR

4.2.4.1 TENSION SUPERFICIAL E INTERFACIAL

En las regiones limítrofes entre dos fluidos inmiscibles siempre existirá un desbalance de fuerzas moleculares en la interfase, cuyo resultado neto es una tendencia a reducir el área de contacto. Cuando estos dos fluidos son líquido y gas, se utiliza el término *tensión superficial* para definir estas fuerzas, y cuando son dos líquidos, se denomina *tensión interfacial*.

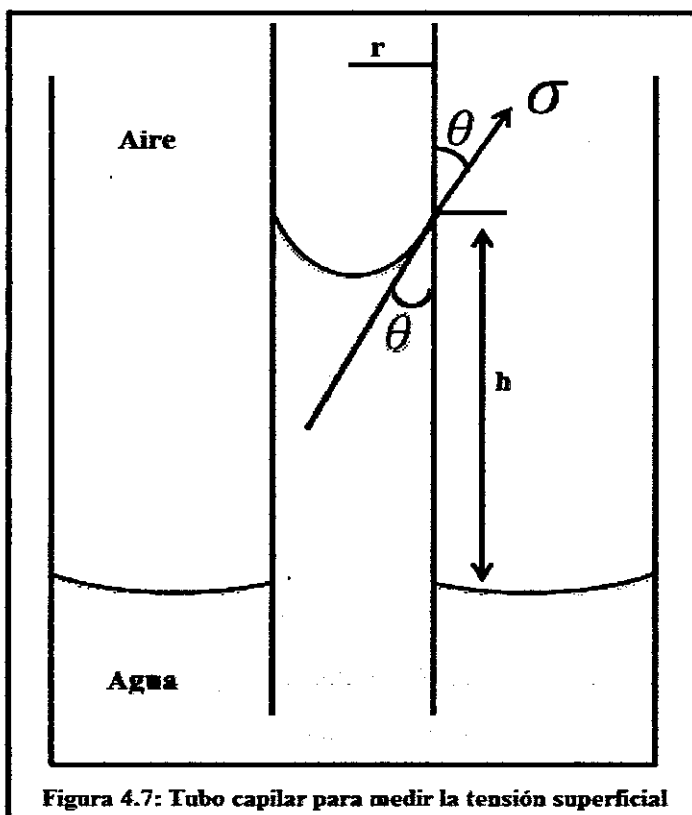
Considérense por ejemplo los dos fluidos inmiscibles: aire (o gas) y agua (o petróleo), que se muestra en la figura 4.6 Como se observa, las fuerzas de atracción que existen entre las moléculas del líquido son de diferente magnitud, dependiendo de la zona del líquido considerada. Una molécula de líquido, situada lejos de la interfase, está rodeada por otras moléculas y es atraída en todas direcciones con la misma intensidad y, por lo tanto, su movimiento no tiende a ser afectado por ellas, siendo la fuerza de atracción resultante cero. Por el contrario, las moléculas localizadas en la interfase, están sometidas a las fuerzas de atracción ejercidas tanto por las moléculas del aire ubicadas inmediatamente encima de la interfase, como por las de líquido que están debajo, las cuales ejercen su fuerza de atracción hacia el líquido, por lo que existe un desbalance de fuerzas moleculares: una tiende a bajar las moléculas y a que se mantengan dentro del líquido, mientras que las otras actúan en la superficie reduciendo su área a un mínimo, dando origen a la tensión superficial.



La tensión interfacial o la superficial tienen las unidades de fuerza por unidad de longitud, esto es, dina/cm, y se denotan usualmente por el símbolo σ . Ambas tensiones varían fuertemente según la temperatura.

METODO PARA MEDIR LA TENSIÓN SUPERFICIAL - METODO DEL ASCENSO CAPILAR

Una de las formas más simples de medir la tensión superficial es usando un tubo capilar como se muestra en la figura 4.7



Como se observa, cuando un tubo capilar de radio “r” se coloca en un recipiente abierto que contiene agua, la combinación de la tensión superficial y la humectabilidad del tubo hacia el agua, es decir, las diferentes fuerzas que actúan a través de la curvatura del menisco, causarán que el agua se eleve en el capilar a una cierta altura “h”, por encima del nivel de agua.

En condiciones estáticas, la fuerza que genera la tensión superficial se balanceará con la fuerza de gravedad que actúa sobre la columna de fluido.

Si “r” es el radio del capilar, la fuerza total ejercida hacia arriba que sostiene la columna de líquido, es igual a:

$$F_{arriba} = 2\pi r \sigma_{gw} \cos\theta \dots\dots\dots 4.1$$

Donde σ_{gw} , es la tensión superficial entre el aire y el agua, dinas/cm; θ , es el ángulo de contacto entre el agua y el tubo capilar; y “r” el radio del capilar en cm.

La Fuerza hacia arriba es balanceada con el peso de la columna de agua, entonces:

$$F_{abajo} = \pi r^2 h \rho_w - \rho_{aire} g \dots\dots\dots 4.2.$$

Donde h es La elevación del agua dentro del capilar en cm; ρ_w , la densidad del agua en gr/cm³, ρ_{aire} , en gr/cm³; y “g”, la constante gravitacional, 980 cm/cg²

Como la densidad del aire es despreciable en comparación con la densidad del agua, la ecuación 4.2, se reduce a:

$$F_{abajo} = \pi r^2 h g \rho_w \dots\dots\dots 4.3$$

Igualando la ecuación 4.1 y la ecuación 4.3 y resolviendo para la tensión superficial, se obtiene:

$$\sigma_{gw} = \frac{r h g \rho_w}{2 \cos\theta} , \dots\dots\dots 4.4$$

Así, si se puede medir el ángulo θ (a través del líquido) y la altura de la columna de fluido para un determinado radio capilar. Entonces, se puede determinar la tensión de superficie.

Para el caso que los fluidos sean agua y petróleo, la ecuación 4.4, será:

$$\sigma_{gw} = \frac{r h g (\rho_w - \rho_o)}{2 \cos\theta} , \dots\dots\dots 4.5$$

4.2.4.2 MOJABILIDAD

Cuando dos fluidos inmiscibles están en contacto con una superficie sólida, uno de ellos tiende a esparcirse o adherirse a dicha superficie más que el otro. Ello como resultado de las tensiones interfaciales entre los fluidos y el sólido.

Una medida de la mojabilidad es el ángulo de contacto θ_c , que está relacionado a las tensiones interfaciales por la ecuación de Young Dupré. Por ejemplo, para un sistema petróleo-agua-sólido, se tiene: (ver figura 4.8)

$$\sigma_{os} - \sigma_{ws} = \sigma_{ow} \cos \theta_c$$

Donde: σ_{os} = tensión interfacial petróleo sólido

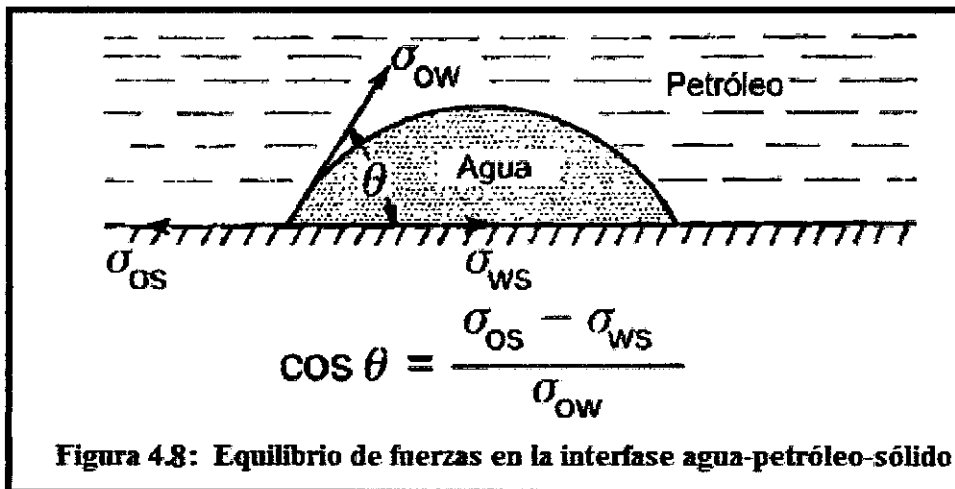
σ_{ws} = tensión interfacial agua sólido

θ_c = ángulo de contacto medido a través del agua en grados

Ahora bien: $0^\circ \leq \theta_c \leq 180^\circ$

Si $0^\circ \leq \theta_c < 90^\circ$ se dice que el sólido es mojado por agua,

si $90^\circ < \theta_c \leq 180^\circ$, el petróleo es el que moja y si, $\theta_c = 90^\circ$ el sistema es neutral.



Normalmente las rocas reservorio son mojadas por agua, favoreciendo el proceso de desplazamiento del petróleo que ocupa los poros más grandes. Sin embargo la mojabilidad puede ser alterada con la absorción de surfactantes o grandes capas de material orgánico.

4.2.4.3 PRESIÓN CAPILAR

Es el diferencial de presiones que existe en la interfase de dos fluidos inmiscibles en un sistema poroso, uno de los cuales moja preferentemente el sólido. En el diferencial se toma como positiva la presión del fluido que no moja menos la presión del fluido que moja.

En sistemas formados por petróleo y agua, agua y gas (también aire) o petróleo y gas, se origina una interfase curvada entre los dos fluidos que tiene la tendencia a

contraerse formando el área más pequeña por unidad de volumen. Por eso, cuando dos fluidos inmiscibles están en contacto existe una discontinuidad en la presión entre ellos que dependerá de la curvatura de la interfase que los separa. Esta diferencia de presión se denomina presión capilar y es referida como P_c .

El desplazamiento de un fluido por otro dentro de los poros de un medio poroso depende de las fuerzas de superficie de la presión capilar. En consecuencia, para mantener un medio poroso parcialmente saturado con un fluido que no moja y mientras el medio es también expuesto a un fluido mojante, es necesario mantener la presión de la fase mojante en un valor mayor que la fase no mojante.

Si denotamos la presión en la fase mojante por P_m y en la fase no mojante por P_{nm} , la presión capilar puede expresarse:

$$p_c = p_{nm} - p_m$$

Esto es, el exceso de presión en la fase no mojante es la presión capilar, y esta cantidad es función de la saturación.

Según la definición anterior existen tres tipos de presión capilar:

- Para un sistema agua-petróleo, p_{cwo}

$$p_{cwo} = p_o - p_w \quad \dots\dots\dots(1)$$

- Para un sistema gas-petróleo, p_{cgo}

$$p_{cgo} = p_g - p_o \quad \dots\dots\dots(2)$$

- Para un sistema gas-agua, p_{cwo}

$$p_{cgw} = p_g - p_w \quad \dots\dots\dots(3)$$

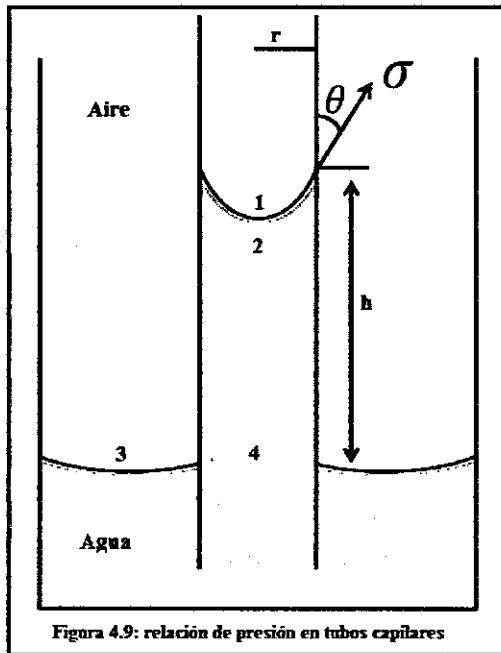
Donde p_o, p_w y p_g representan la presión del petróleo, agua y gas, respectivamente.

Si todas las fases son continuas, entonces, (1) y (2) en (3):

$$p_{cgw} = p_{cgo} - p_{cwo} \quad \dots\dots\dots 4.6.$$

De la figura 4.9, se nota que la diferencia de presión a través de la interfase entre los puntos 1 y 2 es esencialmente la presión capilar, es decir:

$$p_c = p_1 - p_2$$



La presión de la fase agua en el punto 2 es igual a la presión en el punto 4 menos la presión de la columna de agua, esto es:

$$p_2 = p_4 - gh\rho_w \dots\dots\dots(4.7)$$

La presión encima de la interfase, justamente en el punto 1, representa la presión del aire y viene dada por:

$$p_1 = p_3 - gh\rho_{aire} \dots\dots\dots (4.8)$$

Se puede ver que la presión en el punto 4 dentro del tubo capilar es la misma que en el punto 3 fuera del tubo. Restando la ecuación (4.7) de la ecuación (4.8), resulta:

$$p_c = gh \rho_w - \rho_{aire} = gh\Delta\rho \dots\dots\dots (4.9)$$

Donde $\Delta\rho$ es la diferencia de densidades entre la fase humectante y la fase no humectante.

La densidad del aire es despreciable, en comparación con la densidad del agua.

En unidades prácticas, la ecuación (4.9), puede expresarse así:

$$p_c = \left(\frac{h}{144}\right)\Delta\rho \dots\dots\dots (4.10)$$

Donde p_c es la presión capilar en lpc; h , la altura del capilar en pies; y $\Delta\rho$, la diferencia de densidades en lb/pie³.

En el caso de un sistema petróleo-agua, la ecuación (4.9) se escribe así:

$$p_c = gh \rho_w - \rho_o = gh\Delta\rho, \dots\dots\dots (4.11)$$

y en unidades practicas: $p_c = \left(\frac{h}{144}\right)(\rho_w - \rho_o) \dots\dots\dots (4.12)$

La ecuación de presión capilar puede expresarse en términos de la tensión superficial y la tensión interfacial combinando las ecuaciones (4.9) y (4.11), con las ecuaciones (4.4) y (4.5) para dar:

- Sistema gas-líquido:

$$p_c = \frac{2\sigma_{gw}(\cos\theta)}{r} \dots\dots\dots (4.13)$$

$$h = \frac{2\sigma_{gw}(\cos\theta)}{rg(\rho_w - \rho_g)} \dots\dots\dots(4.14)$$

Donde : p_c es la presión capilar en dinas/cm²; σ_{gw} : la energia superficial entre el gas y el agua en dinas/cm; r: radio del capilar en cm; y g: aceleracion de la gravedad en cm/seg².

- Sistema petróleo-agua:

$$p_c = \frac{2\sigma_{ow}(\cos\theta)}{r} \dots\dots\dots(4.15)$$

CAPITULO V

ACTIVIDADES DE PLANIFICACIÓN, CORTE, MANEJO Y ANÁLISIS DE LOS NÚCLEOS DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS

5.1 COMO PLANIFICAR UN SONDAJE O MUESTREO

La planeación empieza con un listado de los objetivos del programa de muestreo. El mejor equipo para hacer esto es aquel que tenga personal de petrofísica, yacimientos, geología, perforación y producción. Cuando se discuten los objetivos, cada gasto debe resultar finalmente en la producción de más crudo o gas a menor costo unitario. Se indicarán las restricciones en presupuesto, lugar, y tiempo en el programa. El diámetro de la perforación, el ángulo de perforación, temperatura, presión, y tipo de roca influirán en la selección de las herramientas de sondeaje. La planeación se vuelve un proceso interactivo donde se construye un consenso y se formula un programa detallado. La planeación y la comunicación son las claves para una operación exitosa de muestreo.

5.1.1 OBJETIVOS DE UNA OPERACIÓN DE MUESTREO

El objetivo de cada operación de muestreo es recolectar información que resulte en una producción más eficiente de crudo o gas. Algunas tareas específicas pueden incluir:

5.1.1.1 LOS OBJETIVOS GEOLÓGICOS

1. Información litológica:
 - a. Tipo de roca
 - b. Ambiente deposicional
 - c. Tipo de poros
 - d. Mineralogía/geoquímica
2. Mapas geológicas
3. Orientación de fracturas

5.1.1.2 INGENIERÍA PETROFÍSICA Y DE YACIMIENTOS

1. Información de permeabilidad:
 - a. Correlación de permeabilidad/porosidad
 - b. Permeabilidad relativa
2. Datos de presión capilar
3. Datos para refinar los cálculos en los registros de sucesos

- a. Propiedades eléctricas
- b. Densidad de granos
- c. Registro de gamma de núcleos
- d. Mineralogía y la capacidad de intercambio de catión

5.1.2 SELECCIÓN DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN PARA EL SONDAJE

La selección de un fluido para el sondeo o perforación debe basarse en cuatro puntos:

1. La seguridad tiene prioridad sobre todos los demás factores. El fluido de perforación debe diseñarse para soportar las presiones esperadas de la formación como también limpiar, lubricar, y estabilizar la perforación.
2. Los objetivos del programa de muestreo deben influir en la selección del fluido de sondeo/perforación. Todos los fluidos para muestreo deben ser diseñados para tener una pérdida de filtrado API de baja estática y muy baja pérdida de arranque dinámico para minimizar la purga de núcleos.
3. Los intereses ambientales también deben considerarse e incluirse en el presupuesto. Esto puede significar el uso de un sistema más costoso de fluido para perforación para cumplir con los objetivos ambientales, o proporcionar equipos adicionales para el manejo de fluido para perforación para asegurar su contención.
4. El costo es importante: es una buena práctica revisar el costo de todo el programa de análisis de núcleos y los beneficios esperados. Los ahorros en fluidos para perforación pueden incrementar el costo de los análisis de núcleos, y pueden poner la precisión de los estudios de núcleos en riesgo.

5.1.3 EQUIPOS PARA MUESTREO O EXTRACCIÓN DE NUCLEOS

Con varias excepciones notables, los sistemas de muestreo consisten de un sacanúcleo interior suspendido de un montaje giratorio dentro de un sacanúcleo exterior conectado a la cadena del taladro. Se conecta una barrena cortanúcleos al fondo del cilindro exterior y se adapta un colector de muestras en el fondo del cilindro interior. Se bombea el fluido para perforación por la cadena del taladro, a través del montaje giratorio, por la corona circular entre los cilindro interior y exterior, y sale por la broca del taladro.

Existen varios métodos para la extracción de núcleos. Las técnicas de muestreo continuas convencionales de diámetro completo se pueden dividir en dos

grupos: aquellas que emplean un cilindro interior estándar de acero para uso repetido, y aquellas que utilizan cilindros interiores desechables o forros. Otros métodos de muestreo tales como los aparatos de paredes laterales y los aparatos de muestreo recobrados por wireline obtienen material de roca utilizando equipos especiales. Los procesos especiales de sondaje, incluyendo los métodos de presión retenida y de esponja, están disponibles para obtener resultados de análisis de núcleos y fluidos más representativos de las condiciones in situ.

5.1.3.1 SISTEMAS CONVENCIONALES DE MUESTREO

1. Saca núcleos Convencional

Existen herramientas convencionales de muestreo para cortar núcleos con diámetros exteriores de 1.75 a 5.25 pulgadas (44.5 a 133.4 milímetros). La longitud del núcleo puede variar de 1.5 pies (.46 metros) para aplicaciones de pozos horizontales de radio corto hasta más de 400 pies (121.9 metros) para formaciones consolidadas gruesas y uniformes.

El tamaño de la perforación, el ángulo de perforación, fuerza de la roca, y litología controlarán el diámetro y la longitud del núcleo que puede ser cortado en un solo recorrido. La selección final de un sistema particular dependerá de la formación, ubicación, y los objetivos del programa de muestreo. Ver tabla 5.1

2. Saca núcleos Convencionales reforzados

Se han desarrollado herramientas de muestreo especiales para trabajo pesado para trabajar en formaciones más duras que las normales, y cortar núcleos de longitud extendida. Los hilos reforzados permiten que se aplique más par de torsión en la broca, y mejora el margen de seguridad contra fallas en las herramientas. Diseñados para cortar núcleos hasta 5.25 pulgadas (133.4 milímetros) en diámetro, estas herramientas son especialmente atractivas en situaciones donde el tiempo de montaje es el gasto más grande del muestreo. Se utilizan los sistemas de muestreo reforzados para mejor ventaja cuando se sondean longitudes más largas de formaciones homogéneas.

3. Forros de los Saca núcleos

El uso de un forro en un cilindro interior de acero tiene dos funciones principales: mejorar la calidad del núcleo soportando el material de núcleo físicamente durante su manejo y servir como un sistema de preservación de núcleos. Se han usado plásticos PVC y ABS, fibra de vidrio, y aluminio como forros de cilindro interiores. Los forros se deslizan en un cilindro interior convencional y son agarrados por el montaje del colector de muestras y fricción. Los forros típicamente son de 30 pies (9.14 metros). Se pueden cortar para aplicaciones especiales, pero su longitud máxima es rara vez mas de 30 pies (9.14 metros) debido a las limitaciones de fabricación y el manejo de materiales.

4. Sistemas de Cilindros Interiores desechables

Los cilindros interiores desechables sirven para los mismos propósitos generales que los forros. Estos mejoran la calidad del núcleo soportando el material de núcleo físicamente durante el manejo y sirven como sistema de preservación de núcleos. Además, el diámetro exterior del núcleo no es reducido, como sería el caso con un forro de cilindro interior. Existen cilindros interiores desechables de aluminio, fibra de vidrio, y acero dulce, y son fabricados de varios tamaños para adaptarse a la mayoría de los sistemas convencionales de sondaje. Además, el cilindro interior de fibra de vidrio tiene un bajo coeficiente de fricción que permite que el núcleo se deslice más fácilmente en el sacanúcleos, así reduciendo el riesgo de atascamiento.

La Tabla 5.1 resume las opciones convencionales de muestreo disponibles.

Cilindro interior	Longitud de Núcleo	Características especiales
Acero dulce	30 a 120 pies	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Aplicaciones de temperaturas altas.
Acero dulce	15 pies	Diseñado para el sondaje de radio corto
Acero forjable	120 a 400 pies	Sacanúcleos más fuerte, incluye una estabilización adicional de cilindro interior y exterior

Fibra de vidrio	30 a 90 pies	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Uso: formaciones consolidadas y no consolidadas. Temperatura máximas 250 °F y 350°F
Aluminio	30 a 90 pies	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Aplicaciones a altas temperaturas, máximo 350 °F
Acero con forro plástico	30 pies	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Temperatura máxima de 180 °F
Acero con forro de fibra de vidrio	30 pies	Sistema preparado para la preservación de núcleos, temperatura máxima 350 °F. Reduce el diámetro del núcleo por ½ pulgada.

5.1.3.2 SISTEMAS ESPECIALES DE MUESTREO

Han evolucionado los sistemas especiales de muestreo para llenar las necesidades específicas de muestreo. Los sacanúcleos de presión retenida y de esponja surgieron de una necesidad para mejores datos de saturación de crudo. Los sistemas de muestreo de manga de caucho y de cierre completo fueron desarrollados específicamente para mejorar la calidad de los núcleos cortados de formaciones no consolidadas. Otros sistemas especiales de muestreo tienen capacidades únicas, las cuales los hacen útiles para los ingenieros y los geólogos que los emplean. La Tabla 5-2 resume algunas de las opciones especiales de muestreo disponibles.

1. Muestreo de Presión retenida

Los sacanúcleos de presión retenida son diseñados para recoger núcleos mantenidos en condiciones de presión de yacimiento. Aceptado como el mejor método para obtener datos de saturación de crudo basados en los núcleos, los núcleos de presión retenida también capturan gases de yacimientos. Existen sacanúcleos de presión retenida en dos tamaños: 6 pulgadas y 8 pulgadas de diámetro exterior que cortan núcleos de 2.50 y 3.75 pulgadas de diámetro exterior, respectivamente. El cilindro de diámetro exterior corta hasta 20 pies de núcleo de 2.5 pulgadas de diámetro mientras mantiene una presión máxima de 10.000 psi (69 Mpa). El cilindro de diámetro exterior de 8 pulgadas corta 10 pies de núcleo de 3.75 pulgadas de diámetro mientras retiene un máximo

de 5.000 psi (34.5 Mpa) de presión interna. La máxima temperatura de operación recomendada es de 180°F (82°C).

2. Sistema de muestreo forrado con esponja

El sistema de muestreo forrado con esponja fue desarrollado para mejorar la precisión de los datos de saturación de crudo basados en núcleos. Un sistema de muestreo de esponja no atrapa los gases de un yacimiento. En lugar de esto, el sistema atrapa el crudo expulsado cuando se saca el núcleo a la superficie.

Un sistema de muestreo de esponja tiene la ventaja de ser menos costoso para operar que un sistema de muestreo de presión retenida. El sistema de muestreo de esponja es limitado a cortar un máximo de 30 pies de núcleo de 3.5 pulgada de diámetro por recorrido.

3. Sistema de muestreo de cierre completo

Los sistemas de muestreo de cierre completo fueron desarrollados para mejorar el recobro de formaciones no consolidadas. Estos sistemas utilizan forros para sacar núcleos o cilindros interiores desechables, y un sistema especial de colección de muestras para recobrar las rocas difíciles.

La tecnología de muestreo de cierre completo permite al cilindro interior deslizarse suavemente por encima del núcleo blando con un mínimo de perturbación, y luego sellar el núcleo dentro del sacanúcleos. Los sistemas de muestreo de cierre completo cortan núcleos de 3.5 o 4 pulgadas de diámetro. La longitud recomendada de núcleos es de 30 pies.

4. Saca núcleos de manga de caucho

El sistema de muestreo de manga de caucho fue el primer sistema desarrollado para mejorar las posibilidades de recobrar arenas no consolidadas, conglomerados, y formaciones duras fracturadas. El sacanúcleos de manga de caucho es único porque la parte superior del cilindro interior no se mueve con respecto al núcleo durante el sondaje. El cilindro exterior es perforado alrededor de una columna de roca que es encerrada progresivamente en una manga de caucho. La manga de caucho es más pequeña que el diámetro del núcleo. Esta se estira ajustadamente alrededor del núcleo, envolviéndolo firmemente y protegiendo de la fricción del fluido para perforación. El núcleo es soportado por la manga de caucho, así ayudando en el recobro de las formaciones blandas que no soportarían su propio peso.

Solo existe un tamaño de sacanúcleos de manga de caucho, que corta 20 pies de núcleo de 3 pulgadas de diámetro por recorrido. La manga de caucho está limitada a temperaturas de no más de 200°F (93°C). No se recomienda la herramienta para uso en perforaciones de más de 45 grados de inclinación.

5. Saca núcleos recuperable con Wireline

Las herramientas de muestreo recobrable son operacionalmente similares a los sistemas convencionales de muestreo excepto que están diseñados para sacar el cilindro interior a la superficie por wireline o cable. Esto acelera la operación de sondaje eliminando la necesidad de interrumpir toda la cadena del taladro para cada núcleo. Se bombea una nueva sección de cilindro interior por la cadena del taladro y esta es asegurada en su lugar para el muestreo adicional.

Las herramientas de sondaje recobrable son por lo general más pequeñas y más livianas que los sistemas convencionales de muestreo. Esto es una ventaja cuando tienen que ser transportadas a lugares remotos o por helicóptero. Desafortunadamente, los diámetros de núcleos son limitados porque todo el montaje del cilindro interior debe pasar por la cadena del taladro. También, se debe tener cuidado para evitar "fuga" de crudo o gas en el pozo mientras se recupera el cilindro interior.

Tabla 5.2: Sistemas especiales de Muestreo.

Sistema de sondaje	Dimensiones Máximas del Núcleo	Aplicaciones especiales
Presión retenida	3.75 pulg.x 10 ft (5000 psi) 4.0 pulg. x 20 ft. (10000 psi)	Análisis de presión retenida, saturaciones de fluido, volumen y composición de gases
Forrado con esponja	3.5 pulgx30 ft.	Saturaciones de fluido
Manga de caucho	3.0 pulg. x 20 ft	formaciones no consolidadas, fracturadas o conglomerados
Wireline recobrable	2.75 pulg.x 30 ft	El sondaje es posible sin un tubo disparador
Wireline pared lateral de percusión	1.0 pulgx1.75 pulg	Muestras obtenidas después de perforación y registro

Wireline pared lateral perforada	0.94 pulgx1.75pulg.	Muestras obtenidas después de perforación y registro
----------------------------------	---------------------	--

5.1.4 TIPOS DE BROCAS PARA MUESTREO

Las brocas para muestreo son una parte básica del sistema de muestreo. Desafortunadamente para los expertos y los principiantes igual, las brocas de sondaje vienen en una confusa variedad de estilos. Afortunadamente, existen pautas generales de brocas/formaciones de los fabricantes para ayudar en la selección de la broca apropiada. Con un poco de información básica, es posible tomar decisiones informadas sobre los tipos de cortadores, perfiles de brocas, y consideraciones hidráulicas para el margen de condiciones de muestreo anticipadas. La selección final de brocas debe ser guiada por los objetivos del programa de sondaje, junto con una confirmación que la broca ha sido aprobada en el campo para aplicaciones similares.

La dureza (fuerza compresiva), abrasividad, y variabilidad de las rocas a muestrear tendrá la influencia más grande sobre la selección de cortadores. Las pautas generales sugieren el uso de cortadores más pequeños, más resistentes a impactos entre más duras sean las formaciones.

Las brocas de taladro de descarga frontal con baja invasión diseñadas para formaciones de resistencia no consolidada-a-mediana pueden ser utilizadas en rocas más duras o más abrasivas, pero la vida útil de la broca puede ser reducida drásticamente.

La información presentada en la Tabla 5-3 ofrece un resumen de los tipos de brocas para sondaje disponibles. Se debe obtener los detalles específicos sobre las brocas de sondaje y las recomendaciones para aplicaciones particulares de las empresas de servicios.

5.1.4.1 BROCAS DE DIAMANTE NATURALES

Se utilizan brocas de taladro de diamante natural cuando la formación es demasiado dura (alta resistencia compresiva) y/o abrasiva para otro tipo de elementos cortadores. Se pueden montar diamantes naturales grandes en una matriz de carburo de tungsteno, o se pueden dispersar recortes finos de diamantes en una matriz para formar lo que se llama una broca impregnada de diamantes. Las brocas

impregnadas de diamantes naturales son para aplicaciones en formaciones ultra-duras.

5.1.4.2 CORTADORES COMPACTOS DE DIAMANTES POLICRISTALINOS (CDP)

Los cortadores (CDP) compactos de diamantes policristalinos son materiales de diamantes artificiales que consisten de una capa de arenilla de diamantes del tamaño de un micrón sinterizada y adherida a espigas de carburo de tungsteno. El grosor de la capa de diamantes policristalinos es solo de 0.020 a 0.060 pulgadas (.51 a 1.52 milímetros). Las brocas CDP se utilizan para muestrear formaciones que varían de muy blandas a medias duras. Las brocas son diseñadas para cortar por cizallamiento resultando en una alta velocidad de penetración. Debido a la geometría del cortador CDP, estos son susceptibles a daños por impacto, y por lo tanto no son recomendados para formaciones muy duras, altamente fracturadas, o de cuarzos.

5.1.4.3 DIAMANTES TÉRMICAMENTE ESTABLES

El producto (de diamantes) térmicamente estables, PTE, es similar a los CDP en que también es un material de diamantes artificiales. La diferencia principal en el material PTE es que tiene un margen más alto de estabilidad térmica. Estos cortadores son apropiados para formaciones considerados por lo general demasiado duras y/o abrasivas para los cortadores CDP. Estos no son recomendados para formaciones blandas.

5.1.4.4 BROCAS DE CONOS GIRATORIOS

La broca de taladro de conos giratorios utiliza cuatro conos giratorios montados con piezas insertadas de carburo de tungsteno o cortadores de diente triangular para propósitos de sondaje. Los cortadores en los conos giran y se incrustan en el fondo del pozo y rompen la formación en compresión con una acción cinceladora. Debido a la lenta acción cortadora (rompimiento compresivo cincelador) y la cantidad de partes móviles, el uso de las brocas de taladro de conos giratorios no es común.

Tabla 5.3: Guía general de corta núcleos

Propiedades de la Roca	Tipo de Roca	Corta núcleos
Roca abrasiva ultra-dura	Rocas ígneas, cuarcita	Impregnado de Diamante Natural
Roca abrasiva dura	Arenisca, Esquisto, Aluvión	Diamantes naturales montados en la superficie o cortadores PTE
Roca dura no abrasiva	Caliza, dolomita, anhidrita	Cortadores PTE
Roca mediana a dura con capas abrasivas	Arenisca, caliza, esquisto	PTE o diamantes naturales montados en la superficie
Roca de resistencia blanda a mediana	Arenisca, yeso, esquisto	CDP o cortadores de conos giratorios
Roca blanda pegajosa	Suelo arcilloso	Cortadores CDP, descarga frontal

5.2 MANEJO Y PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS EN LAS INSTALACIONES DE POZOS

Los procedimientos de manejo y preservación de núcleos en las instalaciones de pozos deben seguir las mejores prácticas posibles porque el valor de todo análisis de núcleos está limitado por esta operación inicial.

Los objetivos de un programa de manejo de núcleos son los siguientes:

- Obtener material de roca representativa de la formación.
- Minimizar la alteración física del material de roca durante el manejo y el almacenamiento del núcleo.

Los problemas más grandes enfrentados por aquellos que manejan y preservan rocas de yacimientos para el análisis de núcleos son los siguientes:

- Selección de un material no reactivo de preservación y un método para prevenir la pérdida de fluido o la adsorción de contaminantes.
- Aplicación de métodos apropiados de manejo y preservación de núcleos basados en el tipo de roca, grado de consolidación, y tipo de fluido.

Los diferentes tipos de roca pueden requerir precauciones adicionales para obtener datos representativos de los núcleos. Todo el material de núcleos debe ser preservado en las instalaciones del pozo tan pronto sea posible después de recobro para minimizar su exposición a las condiciones atmosféricas.

Con el fin de obtener un análisis representativo de los núcleos de una formación de interés, se recomienda tomar muestras de todo el núcleo. Si se requiere una toma de muestras del núcleo, esta debe realizarse con el conocimiento que el procedimiento puede tener efectos sobre los esfuerzos y resultados de futuros análisis de núcleos. La toma de muestras en las instalaciones de pozos debe ser mínima para mantener la integridad del núcleo. Las muestras para la descripción de litología, por ejemplo, pueden tomarse de algunos pedazos quebrados del núcleo sin dañar ninguna parte de la roca intacta. Si se requieren muestras de adentro de un segmento de núcleo intacto, se debe emplear un método de muestreo no percusivo. La selección de muestras es bastante sencilla para formaciones uniformes. Sin embargo, si una formación contiene una litología muy variada y tipos de porosidad heterogénea (tal como conglomerados, variedades de cuarzos, yacimientos fracturados, y esquistos y arenas intercalados), la selección apropiada de muestras representativas requiere mayor cuidado. Una persona calificada (ingeniero, geólogo, etc.) debe seguir un procedimiento de muestreo establecido para minimizar el sesgo estadístico.

5.2.1 PROCEDIMIENTOS DE MANEJO DE NUCLEOS

Las técnicas de muestreo convencionales de diámetro completo se pueden dividir en dos grupos: aquellas que emplean un cilindro interior estándar de acero para uso repetido, y aquellas que utilizan cilindros interiores desechables o forros. Otros métodos de muestreo tales como los aparatos de paredes laterales y los aparatos de sondaje recobrados por wireline obtienen material de roca utilizando equipos especiales. Los procesos especiales de muestreo, incluyendo los métodos de presión retenida y de esponja, están disponibles para obtener resultados de análisis de núcleos y fluidos más representativos de las condiciones in situ.

El material de núcleos consolidado obtenido con un cilindro interior estándar de uso repetido debe sacarse del cilindro tan pronto como sea posible después de llegar a la superficie para minimizar la imbibición de fluido de perforación. Entre los posibles efectos indeseables de la imbibición de fluidos se encuentran los siguientes:

- a) Cambios en las saturaciones de fluido, equilibrio geoquímico y de soluciones de gas.
- b) Cambios en humectabilidad.

- c) Movilización de arcillas intersticial y minerales de grano fino.
- d) Dilatación de arcilla y la degradación asociada de propiedades mecánicas.

Los diferentes tipos de roca y métodos de muestreo requieren niveles variables de atención y pueden dividirse en dos categorías principales:

1. Manejo básico - Esta categoría requiere una capacitación y/o experiencia mínima e incluye:
 - a. Un cilindro interior estándar de acero para uso repetido utilizado para obtener núcleos en rocas consolidadas moderadamente homogéneas.
 - b. La adquisición de núcleos de paredes laterales por wireline con sondaje de percusión o giratorio.
2. Manejo especial - Esta categoría requiere una capacitación extensiva y/o equipos especiales e incluye:
 - a. Cilindros interiores desechables y sacanúcleos orientados utilizados para obtener núcleos de rocas fracturadas o no consolidadas que pueden requerir una estabilización mecánica (Skopec, et al., 1992).
 - b. Sacanúcleos retenida a presión para mantener el núcleo en la presión del yacimiento para minimizar la expansión de fluido de la reducción en presión y la expulsión de fluido mientras se lleva el núcleo a la superficie (Sattler, et al., 1988)
 - c. Sacanúcleos de aluminio con un forro de esponja dentro de un cilindro interior de acero para atrapar los fluidos durante la expansión por la reducción en presión mientras se lleva el núcleo a la superficie (Park, 1983).

5.2.1.1 REMOCIÓN DEL NÚCLEO DE UN CILINDRO INTERIOR ESTÁNDAR DE ACERO PARA USO REPETIDO

- El núcleo debe removerse del cilindro interior en una posición horizontal cuando sea posible.
- Se debe tener cuidado para minimizar la sacudida mecánica durante la extracción.
- Se debe permitir que el núcleo se deslice del sacanúcleos ligeramente elevando el extremo superior del sacanúcleos.

- Si el núcleo no se desliza, se puede utilizar una vara para empujar el núcleo del cilindro.
- Puede ser necesario golpear el sacanúcleos suavemente con un martillo para iniciar el movimiento del núcleo. Sin embargo, no se debe martillar el sacanúcleos de una manera que cause una sacudida mecánica en el núcleo.
- En toda manipulación física se debe intentar exponer el núcleo al mínimo esfuerzo mecánico posible.
- Si no se puede remover el núcleo con el método anterior, este debe sacar por bombeo con fluido.
- Si esto es necesario, se debe utilizar un arreglo adecuado de pistones que prevendrá que los fluidos tengan contacto directo y contaminen el núcleo.
- Se debe utilizar el fluido de perforación si es necesario bombear directamente con fluidos.
- Se debe evitar el uso de agua fresca u otros fluidos extraños para el núcleo.
- Si se presiona agua por el pistón y este entra en contacto con el núcleo, se pueden obtener valores erróneamente altas de saturación de agua en un análisis subsecuente de núcleos porque cualquier presión excesiva en el cilindro puede hacer que el fluido penetre el núcleo.
- Se debe anotar cualquier dificultad o irregularidad encontrada cuando se remueve el núcleo del cilindro, la presión utilizada si fue sacado con fluido, pérdida de material del núcleo, etc

5.2.1.2 CLASIFICACIÓN Y REGISTRO DE NÚCLEOS

- Se debe extender y empacar el núcleo en el piso de las instalaciones si hay espacio disponible.
- La clasificación y registro del núcleo no debe interferir con la operación de perforación o muestreo.
- Si se toma la decisión de manejar el núcleo en el piso de las instalaciones, hay que colocar bandejas, cajas, o piletas apropiadamente marcadas cerca del sacanúcleos.
- Si se va a extender el núcleo en el pasadizo, se prepara un área despejada y se coloca el núcleo entre dos trozos de tubería de perforación.

- Se debe tener cuidado para mantener la orientación, y preservar la secuencia correcta de los pedazos de núcleo. El punto clave es que el núcleo debe clasificarse y marcarse de tal manera que todo el intervalo de núcleo pueda volverse a ensamblar en el futuro.
- Se debe proteger al núcleo de temperaturas extremas, humedad, y deshidratación, sol directo, motores calientes, lluvia, vientos fuertes, y baja humedad relativa.
- Los materiales y equipos de preservación de núcleos deben estar cerca del área de manejo de núcleos para facilitar una operación rápida.
- Mediciones precisas de recobro deben ser tomadas y registradas.
- Se debe reportar cualquier recobro además del recorte del núcleo, así como el no recobro.
- Los siguientes datos y observaciones pueden ser útiles para determinar el origen de recobro adicional y la falta de recobro:
 - Parámetros de perforación - tiempo de perforación, velocidad de penetración, presión de bombeo, etc.
 - Condiciones generales del núcleo - continuidad, secciones quebradas, fracturas inducidas, etc.
 - Condición del equipo de sondaje de perforaciones de fondo.
- Marque las profundidades de los núcleos de arriba abajo e indique en la parte de abajo si son de recobro adicional o falta de recobro. La parte de arriba del siguiente núcleo debe tener la profundidad perforada.

5.2.1.3 TRANSPORTE Y LOGÍSTICA

El método de transporte debe ser práctico y debe ofrecer protección contra daños por cambios ambientales, vibraciones mecánicas, y el maltrato. Otros factores importantes a considerar cuando se elige el modo de transporte incluyen.

- a) Distancia del pozo al laboratorio,
- b) Condiciones y terreno en tierra y mar adentro,
- c) Competencia del material del núcleo,
- d) Condiciones del clima,
- e) Tipo de preservación o empaque, y
- f) Costo.

En todos los casos, se deben tomar precauciones para estabilizar el material del núcleo sin riesgos. En el transporte aéreo, puede ser que el depósito de almacenamiento no esté presurizado, y este puede ser un factor en la preservación del núcleo. No apile los núcleos de tal manera que se dañe el material del núcleo. Se deben tener cuidado con las empresas transportadoras comerciales que no están acostumbradas a transportar materiales frágiles.

Por razones de seguridad, puede ser necesario tratar a los núcleos empacados en hielo seco como "productos químicos" para propósitos de transporte. Los núcleos, especialmente aquellos de materiales no consolidados, pueden ser congelados o refrigerados en el campo para preservación y estabilización durante su transporte y almacenamiento. Si se congelan, los núcleos deben ser completamente congelados antes del envío para evitar daños mecánicos. El núcleo congelado por lo general es empacado en recipientes aislados y empacados con hielo seco. Los núcleos refrigerados usualmente son enviados en unidades refrigeradoras independientes.

5.2.1.4 HOJA DE DATOS

Se debe conseguir una hoja de datos adecuada y esta debe ser diligenciada por el ingeniero o el geólogo del pozo, para proporcionar un registro más completo de las condiciones de perforación del núcleo. Esta información será valiosa para la cualificación de la interpretación de los datos de análisis del núcleo. Además, este registro puede implicar que se tenga que realizar ciertas pruebas adicionales para complementar las pruebas básicas, o que otras pruebas no producirían datos significativos.

Es importante tener tantos datos pertinentes sean posibles para acompañar el material de núcleos. La siguiente es una lista de información deseable:

- a) Identificación del pozo, número API del pozo.
- b) Tipo de fluido de perforación, contenidos, y datos medidos.
- c) Tipo de núcleo y equipos utilizados.
- d) La(s) formación(es) sondeadas o perforadas, con la profundidad del perforador superior e inferior.
- e) Indicación de la información crítica de sondaje y cualquier nota pertinente, tiempo total de sondaje, viaje, dificultades, y recobro.
- f) Salinidad de la formación de agua y los datos del fluido de producción.
- g) Pautas de preservación. Tiempo de exposición.

- h) Análisis solicitado.
- i) Registro de sondaje y registros de perforación.
- j) Una descripción del núcleo.
- k) Registros de pozo y registros del lodo.

5.2.2 PRESERVACIÓN DE NUCLEOS PARA ANALISIS

La preservación de un núcleo es un intento para mantenerlo, antes de su análisis, en la misma condición que existió en el momento de su remoción del sacanúcleos. En el proceso de cortar un núcleo, recobrarlo, y llevarlo a la superficie, el contenido de fluido de la roca es alterada por los cambios inevitables en presión, temperatura, etc. los métodos de núcleos retenidos a presión intentan minimizar estos efectos. Las prácticas negligentes o incorrectas en el manejo y la preservación causan alteraciones adicionales en el núcleo y sus fluidos, así produciendo un núcleo aún menos representativo de la formación.

La preservación y el empaque de núcleos pueden variar dependiendo de las pruebas requeridas, la cantidad de tiempo antes de pruebas, y la posibilidad de realizar pruebas en el pozo. Si las muestras del núcleo han de utilizarse para determinar la saturación de fluidos o para un análisis de núcleos especial, es necesario preservarlas para su transporte al laboratorio. Se debe evitar la evaporación y la migración de fluidos como también la oxidación dentro de la muestra para obtener un análisis de núcleos confiable. Un objetivo adicional del programa de preservación es el de prevenir la rotura de los núcleos durante su envío y almacenamiento. El núcleo consolidado puede ser lo suficientemente durable para no requerir procedimientos especiales de manejo. Sin embargo, se debe tener cuidado especial con rocas no consolidadas fracturadas, etc.

No se recomienda el uso de frascos de vidrio desprotegidos, plásticos fácilmente deformables (si no son estabilizados apropiadamente), cartones, recipientes no rígidos, y latas herméticas para propósitos de preservación de núcleos.

5.2.2.1 METODOS DE PRESERVACIÓN DE NUCLEOS

No existe un método de preservación mejor que otro. La experiencia puede ayudar a determinar el método más satisfactorio para el tipo de roca en cuestión. La elección del método dependerá de la composición, grado de consolidación, y las

características distintivas de la roca. Por lo tanto, el uso general de un método específico de preservación no se aplicará para todos los tipos de roca.

Las técnicas requeridas para preservar núcleos para pruebas pueden depender de la cantidad de tiempo de transporte, almacenamiento, y la naturaleza de la prueba a realizar. Alguna variación en el método de preservación puede depender del análisis local de los núcleos o si deben ser preparados para envíos de larga distancia.

Los métodos preferidos para preservar núcleos para análisis de laboratorio incluyen uno o más de los siguientes:

- a. Estabilización mecánica.
- b. Preservación ambientalmente controlada utilizando refrigeración, humedad regulada, o congelación, si es necesario.
- c. Laminados de plásticos sellados a calor.
- d. Bolsas plásticas.
- e. Baños y revestimientos.
- f. Sellado en cilindros interiores desechables, forros, y tubos.
- g. Frascos anaeróbicos.

5.2.2.2 ESTABILIZACIÓN MECÁNICA

Todos los tipos de roca deben ser estabilizados mecánicamente antes de enviarlos al laboratorio. Esto es particularmente cierto para rocas no consolidadas. El núcleo que ha sido cortado utilizando cilindros interiores con forros plásticos, de fibra de vidrio, o de aluminio o desechables puede ser encapsulado utilizando resina, cera, o espuma para llenar el espacio anular entre el núcleo y la manga. La resina tiene una viscosidad baja y llenará las fracturas finas. Sin embargo, esta es vaciada en la corona circular y no está bajo la presión suficiente para desalojar los fluidos de poros en la roca y por lo tanto no se impregna en el núcleo. Se debe tener cuidado para evitar la alteración de núcleos mal consolidados o fracturados antes de la estabilización mecánica.

5.2.2.3 PRESERVACIÓN AMBIENTAL

El control de las condiciones ambientales a las cuales el núcleo es sometido por refrigeración o manteniendo un ambiente húmedo pueden ayudar a preservar el núcleo. La refrigeración de núcleos se usa principalmente para minimizar la

evaporación de fluido y para proporcionar una estabilización mecánica. Esta técnica es útil para evitar que el núcleo se seque. Sin embargo, su eficacia está sujeta al tipo de fluido de perforación, las propiedades de la roca y del fluido del yacimiento. Cuando se refrigera el núcleo, sigue siendo necesario estabilizar la roca mecánicamente para transportarlo al laboratorio.

Los núcleos preservados por congelación deben ser congelados aplicando hielo seco, nitrógeno líquido, o colocándolos dentro de una unidad congeladora eléctrica. La congelación puede resultar en la migración o la difusión de fluidos dentro de la estructura del núcleo o la rotura del núcleo. La congelación puede causar pérdidas significativas por evaporación a través de la sublimación. Los núcleos no consolidados que han sido congelados pueden ser empacados con una salmuera congelada de 1/4 pulgada (6.35 mm) de grosor (capa de hielo superficial) para reducir el proceso de sublimación. Esta medida es crítica si se utiliza la congelación para almacenamiento de largo plazo. Pueden ocurrir daños estructurales en el núcleo si este se deshidrata mientras está congelado.

5.2.2.4 LAMINADOS PLÁSTICOS SELLADOS A CALOR

Existen diferentes laminados plásticos que se pueden sellar a calor. Se puede utilizar papel aluminio o Mylar para agregar rigidez al laminado. El empaque laminado de preservación de núcleos debe actuar como una barrera impenetrable al vapor de agua y gases, y debe ser resistente a la alteración química y degradación por fluidos. Los laminados son fáciles de usar y el proceso de preservación puede ser realizado rápidamente. Se debe tener cuidado para evitar desgarres o perforaciones en el laminado. Se requiere una superficie limpia y plana para alisar el laminado antes de sellar. Todo el núcleo debe ser envuelto previamente y pegado con un plástico durable u otro material para tapar los extremos del núcleo y los bordes afilados. Se debe marcar el segmento empacado con la información del pozo y la profundidad.

El proceso de sellado a calor es crítico para el éxito de este método de preservación.

5.2.2.5 BOLSAS PLÁSTICAS

Se recomiendan bolsas plásticas únicamente para la preservación de corto plazo. Las muestras de núcleos deben tener un espacio mínimo de aire entre el núcleo y

las paredes de la bolsa. La parte sobrante de la bolsa puede ser doblada contra la pared del núcleo y pegada con cinta para asegurar un encaje ajustado. Como siempre, se deben seguir los procedimientos de marcado claro y estabilización apropiada.

5.2.2.6 BAÑOS Y REVESTIMIENTOS

Se utilizan baños y revestimientos cuando los núcleos van a ser probados después de pocas horas o días y cuando el material va a ser transportada por largas distancias. También pueden utilizarse con laminados plásticos para agregar integridad mecánica.

CUIDADO: Los núcleos nunca deben ser bañados directamente con cera derretida o material plástico derretido. Todo el núcleo debe ser previamente envuelto en un laminado o una película plástica sellado a calor y papel aluminio antes de bañarse. Todos los segmentos del núcleo deben ser marcados con la información del pozo y la profundidad. El propósito de la envoltura de la película plástica es de prevenir el contacto del núcleo y los fluidos de poros con la envoltura exterior de papel aluminio. Tal contacto puede causar oxidación del papel aluminio y la pérdida de sus propiedades de barrera de humedad y oxígeno.

El material de revestimiento debe tener las siguientes propiedades:

- a) Debe ser dimensionalmente estable durante largos periodos de tiempo.
- b) No debe reaccionar con aceite o agua y no debe contener ácidos, aceites, solventes u otros líquidos que puedan exudar cuando se asiente.
- c) La permeabilidad a gases, aceites y agua debe ser baja cuando se asiente.
- d) Debe tener un bajo punto de fusión, preferiblemente debajo de 200°F (93.3°C) máximo y debe tener una viscosidad bastante baja cuando se derrita. Los puntos de fusión mas altos son aceptables si se minimiza el tiempo de exposición al baño.
- e) Cuando se remueva del calor y se exponga a condiciones ambiente, este debe estar seco y se debe acomodar dentro 5 a 15 segundos.
- f) Cuando se asiente, este debe ser duro pero manejable, ligeramente elástico pero con buen resistencia a la tracción, y no debe derretirse a temperaturas por debajo de 180°F (82.2°C).

5.2.2.7 CILINDROS INTERIORES DESECHABLES, FORROS Y TUBOS RÍGIDOS

Un medio conveniente de preservación de núcleos es posible cuando se utilizan cilindros interiores desechables o forros hechos de plástico, aluminio o fibra de vidrio. El núcleo puede preservarse tal como está sellando los extremos del cilindro interior o el forro cortado. Esto no se recomienda como método de preservación de largo plazo, pero esto permitirá que el núcleo se procese rápidamente y sin equipos especiales. Los orificios en el cilindro interior deben sellarse antes de envío. El núcleo puede transportarse rápidamente al laboratorio para muestreo y pruebas, y si es necesario, es posible la preservación adicional de los recipientes sellados. Cuando se utiliza un sacanúcleos convencional, se pueden utilizar tubos de acero, aluminio o plástico con acopladores, tapas o sellos de anillo adecuados para preservar el núcleo.

5.2.2.8 FRASCO ANAERÓBICO

La inmersión del núcleo en líquido dentro de un frasco anaeróbico puede utilizarse para prevenir la oxidación, evaporación secado durante el manejo del núcleo. El recipiente anaeróbico es un frasco alargado con una tapa sellable, en el cual se puede introducir un líquido y se puede remover el oxígeno libre. El líquido de inmersión debe ser compatible con los fluidos del núcleo y de poros, y debe ser capaz de mantener la humectabilidad actual de la muestra. Típicamente, los siguientes fluidos son utilizados para inmersión:

- a) Salmuera de formación desoxigenada o salmuera de formación sintética con insecticida.
- b) Crudo.
- c) Aceite mineral refinado despolarizado.

5.3 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE NUCLEOS

5.3.1 DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS

El propósito de la inspección y la descripción de núcleos es el reconocimiento de características litológicas, deposicionales, estructurales, y diagenéticas de núcleos enteros o tajados. Las descripciones cualitativas y cuantitativas de núcleos proporcionan la base para el muestreo regular del análisis de núcleos, análisis de

facies, y otros estudios de yacimientos tales como la calidad del yacimiento y análisis de núcleos suplementarios.

5.3.1.1 APARATOS Y SUMINISTROS

Se recomiendan los siguientes equipos para uso en las descripciones estándar del núcleo:

- a. Formulario de registro para la recolección sistemática de datos.
- b. Microscopio o lupa de mano.
- c. Regla para la medición de longitud.
- d. Regla para el tamaño de grano.

Productos químicos apropiados tales como:

- a. Agua o salmuera para mejorar la visibilidad de estructuras geológicas.
- b. Ácido HCl diluido para identificar minerales carbónicos.
- c. Alizarina roja para diferenciar calcita y dolomita.
- d. Solventes de hidrocarburos para facilitar la detección de la fluorescencia de aceite bajo luces ultravioletas.
- e. Registro de sondaje, informe de perforación, registros de lodo, información del pozo sobre núcleos perdidos.
- f. Registro gamma de núcleos.
- g. Luz ultravioleta.

5.3.1.2 PROCEDIMIENTOS PARA DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS

Se deben utilizar los siguientes procedimientos:

- a. Extienda el núcleo a analizar sobre una mesa de observación.
- b. Revise la cantidad de núcleo con el informe de sondaje y asegúrese que no se ha perdido material del núcleo durante el transporte. Anote cualquier daño o alternación al núcleo durante el manejo y transporte en el campo.
- c. Revise la numeración y el orden de las cajas o recipientes contra la profundidad acumulativa.
- d. Revise la continuidad y la orientación del núcleo con respecto a la parte superior del núcleo. Si el núcleo ha sido marcado con la parte superior del núcleo apuntando hacia arriba cuando la marca roja está al lado derecho.

- e. Revise el orden de los segmentos del núcleo en las cajas. Busque "roturas" que hacen juego o las marcas de una pieza a la siguiente y de una caja a la siguiente.
- f. Mida y marque la longitud en pies en cada caja. Marque el núcleo hasta la última 1/2 pulgada (1 centímetro).
- g. Si hay registros de rayos gamma del pozo, se debe hacer una comparación con los registros del núcleo para verificar que las profundidades de intervalos sondeados sean consistentes con las profundidades del registro de pozo.
- h. Evalúe toda la secuencia sondeada, busque características distintivas tales como unidades, contactos, marcadores únicos (bentonita, carbón).
- i. Registre las características principales utilizando nomenclatura y abreviatura estandarizada, como:
 - Litología del núcleo (esquisto, arenisca, caliza, etc.)
 - Color.
 - Estratificación (grosor, contactos de estratos, marcadores de erosión).
 - Estructuras sedimentarias obvias.
 - Textura (tamaño de grano, angulosidad/redondez y distribución).
 - Composición (granos, cemento, fósiles).
 - Tipos de porosidad.
 - Características diagenéticas y tectónicas.
 - Anote la cualquier mancha de aceite y fluorescencia relacionada.
- j. Minimice las descripciones centímetro-por-centímetro.
- k. Registre las rocas que no sean del yacimiento: rocas de lodo, además de posibles secuencias provechosas. Los cambios sutiles en litología pueden asistir en la correlación entre los registros de núcleo y pozo y la definición de zonificación pertinente.
- l. Registre la información de fractura: ancho, extensión, densidad, orientación de fractura si el núcleo está orientado, presencia de cimentación o lodo. Diferencie entre las fracturas naturales y aquellas inducidas por el sondaje.

5.3.2 MUESTREO DE NUCLEOS Y PREPARACIÓN DE NUCLEOS

El procedimiento de muestreo para el análisis básico de núcleos es determinado por el tipo de información requerida. El muestreo por lo general tendrá en cuenta uno o más de los siguientes aspectos:

- a. Distribución litológica.
- b. Variaciones de porosidad y permeabilidad dentro de las unidades litológicas.
- c. Distribución de hidrocarburos

Según la información requerida, las muestras pueden ser:

1. Muestras de Tapones

Se les llama más como tapones. Estos deben ser removidos de secciones de núcleos enteros que están orientados vertical u horizontalmente con respecto al eje completo del núcleo o con respecto a la normal de los planos de estratificación. Estos tapones proporcionarán datos sobre las propiedades de la matriz.

2. Muestras de Diámetro Completo

Las muestras de diámetro completo (secciones de núcleos enteros), además de muestras de tapones, deben ser tomadas de los siguientes tipos de zonas o donde existen heterogeneidades significativas de grande escala que son diferentes a las propiedades de la matriz. Estos pueden ocurrir en los siguientes:

- **Carbonatos "vuggy":** Los vugs pueden sesgar la medición de porosidad dentro de una muestra. Se debe tomar muestras para obtener una representación de la proporción relativa de vugs/roca en el yacimiento.
- **Yacimientos fracturados:** Puede ser difícil tomar muestras en las zonas fracturadas debido a la naturaleza frágil de la roca. Sin embargo, las fracturas naturales pueden tener un impacto positivo significativo en la permeabilidad del yacimiento y se debe tomar muestras de donde sea posible o apropiado.
- **Conglomerados:** Dentro de un conglomerado, si el tamaño del guijarro es grande con respecto al tamaño de la muestra, el tamaño de la muestra puede sesgar las mediciones de las propiedades de la roca en gran cantidad. Para obtener una muestra representativa de

una unidad de conglomerado, es necesario que el tamaño de la muestra sea suficiente para incluir todos los tamaños de guijarros.

5.3.2.1 CORTE, ARREGLO Y MONTURA DE MUESTRAS

El núcleo debe ser cortado y arreglado para proporcionar muestras de formas regulares, comúnmente cilindros rectos. Puede ser necesario montar las muestras no consolidadas, que se están desintegrando, y muy friables antes de las pruebas.

1. Equipos y Materiales

Los siguientes equipos y suministros son comúnmente utilizados en las operaciones de corte y arreglo de muestras de núcleos:

- a. Sierra de tajada grande con hoja de diamante.
- b. Sierra de guarnición con hoja de diamante.
- c. Prensa taladradora con brocas de núcleos de diamante, capaces de perforar muestras cilíndricas.
- d. Afilador para cuadrar los extremos de los tapones.
- e. Bombas de fluido para llevar diferentes refrigerantes (salmuera, aceite, aire, agua, N₂ líquido) a las superficies de cortado.
- f. Medios de marcado indeleble tal como tinta India.
- g. Mangas de plomo, aluminio, o plástico que encoge con el calor para montar muestras blandas, no consolidadas, o muy frágiles.

La siguiente información debe estar disponible antes de las operaciones de corte, arreglo, o montura:

- a. La cantidad total de muestras requeridas.
- b. Tamaño y orientación necesaria.
- c. Ubicaciones de la profundidad exacta para las muestras y la manera que deben ser marcadas.
- d. Fluidos a utilizar para cortar las muestras (núcleos que contienen arcillas o laminaciones de esquistos sensibles a agua dulce se deteriorarán a menos que se utilicen los fluidos de perforación apropiados.
- e. Imágenes de núcleos disponibles.
- f. Si es necesario, los materiales para el método preferido de preservación tanto para los tapones como para el núcleo del cual se cortaron los tapones.

2. Procedimiento de corte de muestras

Se deben seguir los procedimientos indicados a continuación para preparar diferentes tipos de muestras de núcleos:

a. Muestras de tapones:

1. Perfore los tapones en puntos especificados utilizando la broca del tamaño apropiado. Se debe tener cuidado para perforar tapones rectos. Si se aplica demasiada presión durante la operación de perforación, la broca se doblará causando una deformación del tapón.
2. Recorte los tapones hasta la longitud requerida asegurando que los extremos quedan paralelos. Guarde y marque los extremos recortados.
3. Marque, preserve, y/o almacene las muestras, según la necesidad.

b. Muestras de diámetro completo:

1. corte las secciones del núcleo seleccionado para análisis ligeramente más largo que lo necesario para permitir las operaciones finales de molido.
2. Remueva las púas y alise los bordes astillados tratando los extremos. Los extremos del cilindro deben ser lo más paralelos posible.
3. Marque las muestras claramente y presérvelas o almacénelas según la necesidad.

c. Muestras no consolidadas - Existen dos métodos distintos para preparar núcleos no consolidados. Los procedimientos dependen de la estabilización del núcleo por congelación, impregnación con epoxi, o ambos, o si no está estabilizado. Los núcleos estabilizados por lo general son perforados mientras los núcleos no estabilizados son cortados a ras.

1. Núcleos estabilizados - Los núcleos congelados son obtenidos utilizando las prácticas indicadas para las muestras de tapones, con las modificaciones apropiadas para evitar la descongelación del núcleo.

- a. Enfríe el núcleo con hielo seco y luego perfore con refrigerante líquido N2.
- b. Perfore los tapones en los puntos especificados utilizando la broca del tamaño apropiado. Se debe tener cuidado para perforar tapones rectos. Si se aplica demasiada presión durante la operación de perforación, la broca se doblará causando una deformación del tapón. Asegúrese que hay un flujo adecuado de nitrógeno líquido para que la muestra se mantenga congelada y para que se remuevan los recortes.

c. Monte los tapones en una manga previamente cargada con filtros previamente cargadas y de tamaño apropiado.

e. Marque, preserve, y/o almacene las muestras según la necesidad.

2. Núcleos no estabilizados - los núcleos no congelados pueden ser cortados utilizando una técnica de corte a ras. La cortadora debe ser introducida lentamente en el núcleo y removida. El tapón cortado debe ser removido suavemente de la cortadora e insertada directamente en una manga cargada previamente. Luego se recortan los extremos del tapón

5.4 LIMPIEZA Y SECADO DE LAS MUESTRAS

Antes de las mediciones de porosidad y permeabilidad de laboratorio, los fluidos originales deben ser completamente removidos de la muestra del núcleo. Esto por lo general se logra por medio de la purga, el desagüe, o el contacto con diferentes solventes para extraer hidrocarburos, agua y salmuera.

5.4.1 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS

Se indican algunos solventes utilizados para propósitos de extracción de hidrocarburos en la Tabla 5-4. Los solventes mencionados son aquellos utilizados más frecuentemente para extracción de fluidos de muestras para análisis de rutina. Algunos son preferidos para aplicaciones específicas: se ha encontrado que el cloroformo es excelente para muchos crudos Norte-Americanos y que el tolueno es útil para crudos asfálticos. Antes de limpiar muestras con propiedades desconocidas, se debe probar una sub-muestra con diferentes solvente para verificar su eficacia para limpiar.

Como los cristales residuales de sal afectan la porosidad y la permeabilidad medidas, las muestras de núcleos que contienen un agua de formación con alta salinidad pueden necesitar una extracción adicional para remover la sal. La sal puede ser removida con alcohol metílico u otros solventes en los cuales la sal es soluble.

Los diferentes solventes utilizados para extracción de núcleos pueden ser obtenidos por métodos físicos y químicos muy conocidos. Tales técnicas de recobro pueden hacer práctico el uso de un solvente costoso.

Tabla 5-4. Solventes seleccionados y su uso

Solvente	Punto de ebullición °C	Solubilidad
Acetona	56.5	Aceite, agua y sal
Cloroformo/metanol	53.5	Aceite, agua y sal
Ciclohexano	81.4	Aceite
Cloruro de etilo	83.5	Agua limitada
Hexano	49.7-68.7	Aceite
Metanol	64.7	Agua, sal
Cloruro de metileno	40.1	Aceite, agua limitada
Nafta	160.0	Aceite
Tetracloroetileno	121.0	Aceite
Tetrahidrofurano	65.0	Aceite, agua y sal
Tolueno	110.6	aceite
Tricloroetileno	87.0	Aceite, agua ilimitada
Xileno	138.0-144.4	Aceite

5.4.2 PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA

5.4.2.1 PURGA DE SOLVENTE POR PRESIÓN DIRECTA

La extracción de hidrocarburos y sal de las rocas de yacimientos puede lograrse inyectando uno o más solventes en la muestra de núcleo bajo presión y a temperatura ambiente. La presión utilizada debe ser dependiente de la permeabilidad de la muestra y puede variar de 10 a 1.000 psi. Las muestras de núcleos pueden colocarse en una manga de caucho bajo una presión de sobrecarga o en un aparato portanúcleos adecuado que permitirá el flujo de solvente a través de la matriz de la muestra. El volumen del solvente requerido para remover los hidrocarburos completamente en la muestra del núcleo es dependiente de los hidrocarburos presentes en la muestra y el solvente utilizado. El núcleo se considera limpio cuando la corriente saliente está limpia. En algunos casos, se puede necesitar más de un solvente para remover crudos pesados de tipo asfáltico.

5.4.2.2 EXTRACCIÓN POR SOLVENTE A GAS

En este procedimiento, un núcleo es sujeto a ciclos repetidos de impulso interno

disuelto o solución-gas hasta limpiar el núcleo de hidrocarburos. Se remueven el solvente restante y el agua por medio de un horno de secado.

Cuando se lleva un núcleo de una formación petrolífera a la superficie y este se despresuriza, el gas disuelto en el aceite sale de la solución y desaloja alguna cantidad de aceite y agua del núcleo. Esto resulta en algunos espacios de poros llenos de gas a presión atmosférica. Los espacios llenos de gas en el núcleo pueden llenarse casi completamente con solvente rodeando el núcleo con un solvente adecuado que contenga un gas disuelto y aplicando la presión hidráulica suficiente. Bajo esta condición, el solvente se mezcla con el aceite en el núcleo y la subsecuente despresurización a la presión atmosférica remueve alguna cantidad del aceite residual. El gas de bióxido de carbono es excelente para este propósito por el poco peligro de incendio o explosión y la alta solubilidad en la mayoría de los solventes.

Algunos solventes que se pueden utilizar son nafta, tolueno, o mezclas de solventes. Con ciertos tipos de crudo, se puede reducir el tiempo de limpieza si la cámara del núcleo se calienta con un baño de agua, baño de vapor, o con calentadores eléctricos. Una aplicación exitosa de este método para la limpieza de rutina de núcleos utiliza bióxido de carbono y tolueno a 200 psig, con una presión hidráulica de 1.000 psig. Se utilizan ciclos de aproximadamente 30 minutos.

5.4.2.3 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR DESTILACIÓN

Se pueden utilizar un extractor Soxhlet y un solvente o solventes adecuado(s) para disolver y extraer aceite y salmuera. La extracción puede arreglarse en un colector para que el solvente cargado de agua y aceite se pase a través de un sifón de cada extractor hacia un destilador común desde el cual se destila, condensa y se distribuye de nuevo un solvente fresco a todos los extractores.

La limpieza de la muestra se determina del color del solvente que pasa a través de los sifones periódicamente desde el extractor. La extracción debe seguir hasta que el extracto salga transparente. La no-luminiscencia del extracto bajo la luz fluorescente es un buen criterio para determinar la extracción completa del aceite para un solvente dado. Se debe observar que la extracción completa de ciertos aceites de las muestras de núcleos pueden requerir más de un solvente, y el hecho que un solvente esté transparente después de contacto con la muestra no

necesariamente significa que el aceite haya sido removido completamente de la muestra.

5.4.2.4 EXTRACCIÓN POR GAS LICUADO

La extracción por gas licuado utiliza un extractor Soxhlet presurizado y un solvente polar condensado de un punto de ebullición bajo. El proceso es un procedimiento de extracción por destilación que utiliza solvente presurizado para limpiar el núcleo. El solvente se vuelve a generar a través de la destilación a baja temperatura. Como la extracción es realizada a una temperatura ambiente o menor, este puede practicarse sobre núcleos sensibles a calor tales como aquellos que contienen yeso.

5.4.3 SECADO DE LAS MUESTRAS

Se debe secar cada muestra de núcleo hasta que el peso se vuelva constante. Los tiempos de secado pueden variar sustancialmente, pero por lo general son de más de cuatro horas. Las muestras de núcleos convencionales pueden ser secadas por los métodos indicados en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5.- Métodos para el secado de muestras de núcleos

Tipo de Roca	Método	Temperatura, °C
Arenisca(bajo contenido de arcilla)	Horno convencional u	116
	horno al vacío	90
Arenisca(alto contenido de arcilla)	Horno de humedad Relativa de 40%	63
Carbonato	Horno convencional u	116
	Horno al vacío	90
Con Yeso	Horno de humedad Relativa de 40%	60
Esquisto u otra roca con alto contenido de arcilla	Horno de humedad Relativa 40%	60
	Horno convencional	

Precauciones:

Algunas precauciones que se deben observar en el secado de muestras para mediciones de núcleos de rutina son:

- a. Las muestras que contienen arcillas no deben deshidratarse durante la preparación. Se debe tener cuidado en el secado de estas muestras. En algunos casos, se deben utilizar temperaturas menores que aquellas indicadas en la Tabla 5-5 para prevenir la deshidratación de arcillas.
- b. Las muestras que contienen yeso requerirán procedimientos específicos durante la preparación. Se debe tener mucho cuidado para evitar la pérdida de agua y el cambio en la estructura cristalina.
- c. Permita que las muestras cargadas de solvente se ventilen en una capucha de vapores antes de colocarlas en un horno de secado cerrado.

Preservación de muestras

La preservación de muestras en el laboratorio dependerá de la cantidad de tiempo entre pruebas y el tipo de pruebas a realizarse. Cualquier técnica de almacenamiento o preservación debe asegurar la integridad estructural y evitar el secado, evaporación y oxidación no deseados.

5.5 DETERMINACIÓN DE LA SATURACIÓN DE FLUIDOS

Esta sección se tiene las técnicas especializadas desarrolladas para el análisis de muestras de núcleos con diferentes características físicas y tamaños, obtenidos con diferentes métodos de coreo. La Tabla 5-6 indica las técnicas principales para determinar las saturaciones de fluidos de núcleos. Se describen los métodos principales de análisis de saturación para núcleos de diámetro completo y tapones/núcleos de pared.

Una tarea de evaluación de la formación difícil, si no imposible, es el recobrar un núcleo que tenga la misma saturación y distribución de fluidos como las de la formación antes del coreo. Frecuentemente ocurren cambios en el contenido y distribución de fluidos durante las fases de coreo, recobro, preservación y transporte. Los procesos de laboratorio como son el manejo, muestreo y prueba pueden causar alteraciones adicionales. Estos problemas influyen en los valores finales de saturación de fluidos suministrados en un informe de laboratorio de análisis de núcleos. El análisis de saturación de fluidos puede alterar la humectabilidad del núcleo y así afectar los análisis adicionales sobre el material del núcleo.

Tabla 5.6 Tipo de roca y método recomendado de saturación de fluidos

Tipo de Roca	Métodos de Prueba recomendados
Carbonatos, clásticos consolidados	a, b, c, d, e, f
No Consolidadas (aceite liviano)	c, d, e
No consolidadas (aceite pesado)	c, c(*), e
Carbonatos con vugs	b, d, e, f
Fracturadas	a, b, d
De arcilla	a, c(*), e
Evaporados	g,e
Baja permeabilidad	a, b, c, d, e, f
carbón	H
Shales	a,b,c
Oil Shale	a (*)
Biatomita	c, e

Clave:

a: Retorta a presión atmosférica

b: Extracción por destilación (diámetro completo)

c: extracción por destilación (tapon)

d: Método de núcleo con presión retenida

e: Lavado con solvente / Karl Fischer

f: Método núcleo de esponja

g: Método de contenido de yeso

h: Método de carbon

(*) : procedimiento modificado

5.5.1 MÉTODO DE RETORTA APRESIÓN ATMOSFÉRICA

Se obtienen las saturaciones de fluidos de agua y aceite con un proceso de retorta en el cual el aceite y el agua contenidos en una muestra fresca de material de núcleo triturado son vaporizados, condensados y recolectados en probeta calibrada. La saturación de gas se determina en una muestra adyacente litológicamente similar colocándola en una bomba de mercurio y midiendo la cantidad de mercurio inyectado con el agua y/o aceite en sus lugares.

5.5.1.1 EQUIPO UTILIZADO

Los siguientes ítems describen los aparatos adecuados utilizados en el método básico de retorta:

- a. Retortas de acero inoxidable (Ver Figura 5-1) Estas retortas están diseñadas para contener de 100 a 175 gramos de material de núcleo triturado. Cada retorta tiene una tapa roscada, que a su vez tiene un empaque para prevenir el escape de gases condensables. Se conecta un tubo de condensación largo de acero inoxidable al lado opuesto de la retorta. Se coloca una malla gruesa en el fondo de la retorta para evitar que el material de núcleo triturado entre en el tubo de condensación.
- b. Horno (Ver Figura 5-1). Estos hornos son capaces de contener múltiples retortas. Se prefieren los elementos eléctricos de calentamiento tipo cinta. También se requieren un regulador de temperatura, un termopar, y un aparato de lectura de temperatura.
- c. Baño de María - Ver Figura 5-1. Un baño de María debe ubicarse para que los tubos de condensación pasen por él, así intensificando la condensación de los gases emitidos.
- d. Tubo de recepción de vidrio calibrado - Por lo general es aceptable un tubo de centrífuga común de 15 ml, aunque se puede requerir un tubo de mayor capacidad. El tamaño requerido depende de la cantidad de material de retorta y el total de fluidos contenido dentro de ese material. El tubo de recepción se conecta al extremo del tubo de condensación con un tapón de caucho.
- e. Martillo y triturador de roca - Se puede utilizar una pica de geólogo o un martillo de mampostería. Los trituradores típicos son de la variedad "ardilla".
- f. Sierra de diamante - Se puede utilizar una variedad de sierras comerciales con hojas de diamante.
- g. Bomba de mercurio - Las típicas bombas de mercurio vienen con un arreglo de celda, tapa y válvula. Las celdas típicas pueden acomodar una muestra con un volumen de 10 a 15 cm³. La bomba de mercurio está dotada con una reglilla calibrada tipo aluminio graduado en incrementos de 0.1 cm³. Se conecta un manómetro capaz de indicar presiones hasta de 1.000 psi (6.895 Mpa) a este sistema.
- h. Centrífuga - Una centrífuga manual capaz de contener cuatro tubos de centrífuga de 15 ml es suficiente. Se pueden utilizar otras centrífugas de medidas iguales al tubo y fuerzas centrífugas necesarias.

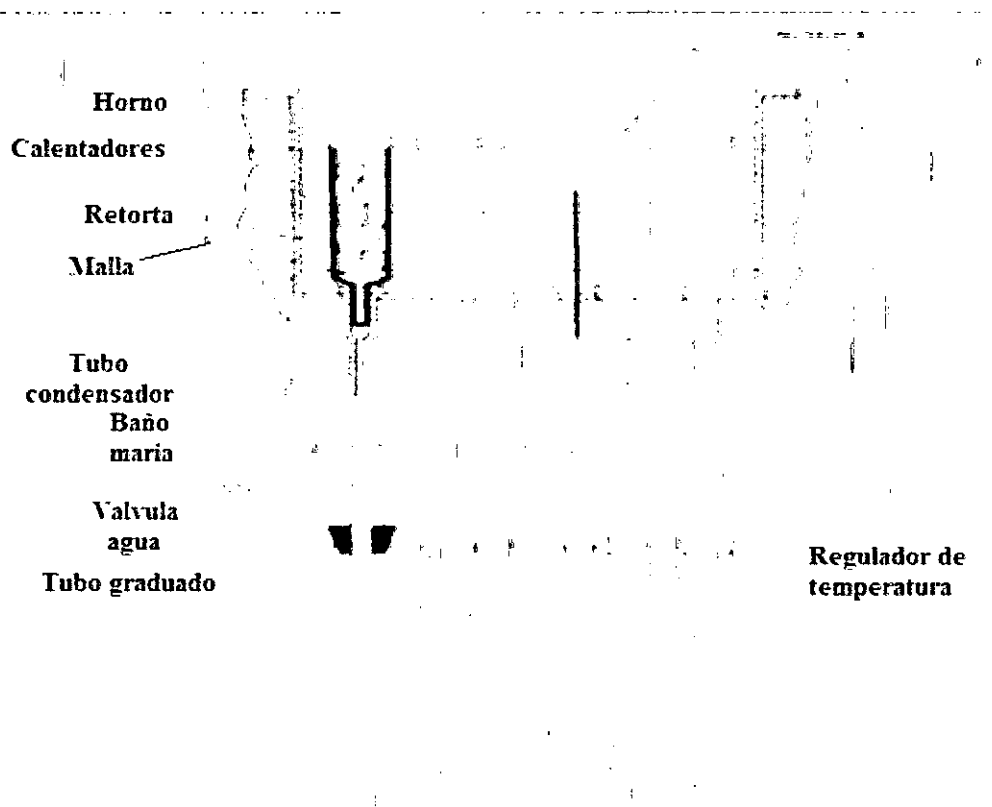


Figura 5-1: Equipo de retorta a presión atmosférica

5.5.1.2 PROCEDIMIENTO

El procedimiento básico normalmente es realizado en muestras tomadas de núcleos de diámetro completo. Se realizan análisis típicos pie por pie, excepto que algunas litologías como son el shale, anhidrita, yeso y arcillas pesadas se describen y no se tienen en cuenta para este tipo de análisis.

- 1) Una muestra representativa de aproximadamente 2 pulgadas de longitud se parte de cada pie utilizando un martillo de geólogo u otro similar. Esta muestra se parte en mitades a lo largo. Una mitad se utiliza para la muestra de saturación de fluidos y la otra mitad se utiliza para obtener un tapón para determinar la permeabilidad y/o la porosidad de la ley de Boyle. Alternativamente, un fragmento de 1 a 2 pulgadas (25.4 a 50.8 milímetros) se puede partir adyacente al fragmento seleccionado para pruebas de saturación de fluidos y el tapón perforado. La ventaja de este último método de muestreo es que se puede sacar un tapón más grande más largo, así reduciendo el potencial de contaminación de fluidos de perforación.

- 2) La muestra (10 a 15 gramos) para la medición de espacio de gas debe recortarse o moldearse a un tamaño conveniente, dimensiones que permitan colocarlo en la celda de la bomba de mercurio. Además, la muestra debe ser bien redondeada para permitir la adaptación con el mercurio. El peso de la muestra es registrado y se determina el volumen de esta muestra por el desplazamiento del mercurio para uso posterior en el cálculo por sumatoria de fluidos.
- 3) Se cierra la válvula de la celda y se incrementa la presión de 750 a 1.000 psi (5.171 a 6.895 Mpa) dependiendo de la permeabilidad y/o porosidad de la muestra. Se registra la cantidad de mercurio inyectado (corregido apropiadamente con los procedimientos de calibración de la bomba).
- 4) La muestra para la medición de agua y aceite debe ser triturada en fragmentos de 1/4 pulgada (6.4 centímetros). El material de núcleo triturado es seleccionado utilizando una malla Tyler 3 o 4 [aproximadamente 0.25 pulgadas (6.4 milímetros)] para remover los finos creados en el proceso de trituración.
- 5) Una cantidad de este material (usualmente con precisión de 100 a 175 gramos) ± 0.01 gramos se pesa y se vierte en la retorta. Se aprieta la tapa de la retorta y ésta, junto con otras retortas preparadas de manera similar, se coloca dentro del horno.
- 6) La temperatura del horno se mantiene inicialmente en 350°F (177°C), hasta que las muestras dejen de producir agua. Los volúmenes de agua son registradas y luego la temperatura del horno se aumenta a una temperatura entre 1.000 y 1.200°F (538 y 649°C).
- 7) Se supervisan los tubos de recolección de fluidos y cuando todas las muestras dejan de despedir fluidos, el proceso es considerado completo. El tiempo de retorta por lo general varía de 20 a 45 minutos. Se registran los volúmenes totales de agua y aceite.

El ajuste inicial de 350°F (177°C) para la temperatura inicial del horno es seleccionado para remover el agua de poros, el agua absorbida, agua de arcilla entre capas (esmeclita), y las aguas de hidratación (CaSO_4), pero no agua de arcilla hidroxilo. Sin embargo, este método no es apropiado para muestras que contienen yeso o grandes cantidades de montmorillonita.

Aunque las muestras que contienen montmorillonita pueden causar problemas en la determinación de saturación exacta de fluido, el calentamiento a

350°F (177°C), está dado como la menor temperatura en la cual se destilan aguas de hidróxilo. Aunque la pérdida de peso de agua de hidróxilo en arcilla en esta temperatura puede ser tan baja como el 5 por ciento, este puede tener impacto sobre los valores finales de saturación de agua y aceite.

Este método es superior a las otras técnicas de retorta, el método meseta. El método meseta sugiere que la representación gráfica de los datos del agua recolectada versus el tiempo, mientras se aplica calor continuamente, producirá mesetas donde se puede determinar un tiempo apropiado para la lectura de únicamente el agua de poros para cada formación probada.

La temperatura final de retorta de 1.000 a 1.200°F (538 a 649°C) puede producir volúmenes de aceite incorrectos. Algunos materiales de núcleos que pueden contener hidrocarburos sólidos, como kerógeno, asfalto de Utah, etc. se descomponen a estas temperaturas.

El analista debe tener en cuenta la composición mineral y puede elegir hacer correcciones arbitrarias y sensatas para el aceite recolectado. En casos extremos, el procedimiento de retorta no debe utilizarse y se deben emplear otros métodos y procedimientos para la extracción por destilación, como Dean-Stark por ejemplo.

Otras fuentes de error en la medición de volúmenes de aceite surgen de:

- (a) Restricción mecánica en los tubos de condensación,
- (b) Sellos de retorta con escapes, y
- (c) Coqueo y craqueo de ciertos aceites.

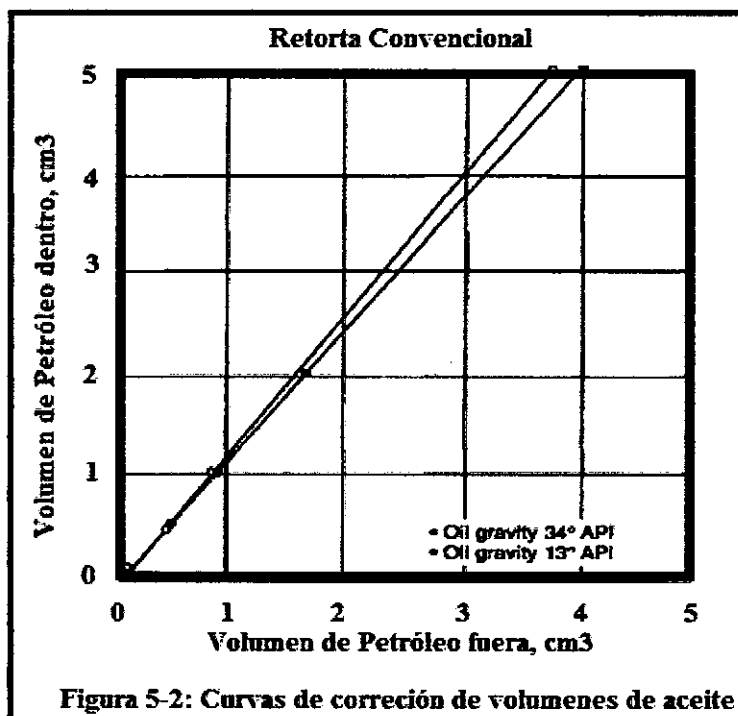
Se deben emplear habitualmente las curvas de corrección de volúmenes de aceite (ver Figura 5-2). La cantidad "total" de agua recolectada después de todo el proceso puede ser valiosa para determinar si el agua de "poros" puede haber sido retenido mecánicamente en el tubo de condensación.

El analista puede observar una densidad de grano calculada para una muestra que es irregular para la tendencia general. Una comparación entre el volumen inicial de agua (de poro) y el volumen final (total) de agua indica una diferencia más grande que lo esperado basado en las diferencias de volúmenes de agua similares de muestras adyacentes.

Luego el personal de laboratorio puede elegir hacer correcciones sensatas en los volúmenes de agua iniciales para que se puedan obtener datos razonables.

El reporte de datos obviamente irregulares no le conviene al usuario final. Estos datos corregidos deben marcarse y se debe insertar una nota de pie de página.

5.5.1.3 DETERMINACIÓN DE LAS SATURACIONES



5.5.1.4 VENTAJAS DEL MÉTODO BÁSICO DE RETORTA

Las ventajas del método básico de retorta incluyen:

- Los fluidos son recolectados de muestras relativamente grandes asegurando la mejor representación de la litología e incrementando la potencial precisión de todas las mediciones.
- El proceso analítico es rápido y proporciona los datos de saturación requeridos dentro de pocas horas. Muchas muestras pueden ser evaluadas en corto tiempo y de manera económica, si hay suficientes retortas y hornos disponibles.
- Los volúmenes de fluidos son medidos directamente a diferencia de otras técnicas que dependen de las combinaciones de volúmenes de fluidos y la pérdida de peso total.
- La pérdida de granos, comúnmente asociado con areniscas friables y algunos carbonatos, no afecta los datos de saturación de fluidos.

5.5.1.5 LIMITACIONES

Las limitaciones del método básico de retorta incluyen:

- a. La saturación de agua (y porosidad) puede ser demasiado alto si las muestras contienen grandes cantidades de montmorillonita o yeso que se descomponen en altas temperaturas. Esto a su vez resultará en saturaciones de aceite demasiado bajas porque el volumen de aceite se expresaría como un porcentaje de un volumen de volumen poroso demasiado alto.
- b. La saturación de aceite (y porosidad) puede ser demasiado alto si la muestra (algunos shales) contiene hidrocarburos sólidos que se descomponen en altas temperaturas. Esto a su vez resultará en saturaciones de agua demasiado bajas porque el agua de poro se expresa como porcentaje de un volumen de volumen poroso demasiado alto.
- c. Se requieren curvas de corrección del volumen de aceite y puede que no sea posible obtener las correcciones para el aceite en cuestión. Puede ser necesario utilizar curvas generalizadas de corrección, basadas en gravedades API reportadas o supuestas.
- d. Se requiere un segundo fragmento del material de núcleo para determinar el volumen total, densidad natural y el volumen poroso lleno de gas. Esta muestra debe ser litológicamente similar a la muestra triturada para los datos de aceite y agua.
- e. Los líquidos destilados pueden formar emulsiones

5.5.2 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR DESTILACIÓN (DEAN STARK)

Este procedimiento es apropiado para muestras de tapones y para núcleos de pared por rotación. El método de extracción por destilación (Dean Stark) para determinar la saturación de fluidos depende de la destilación de la fracción de agua, y la extracción de solvente de la fracción de aceite de la muestra. Se pesa la muestra y la fracción de agua es vaporizada por un solvente en ebullición. Se condensa el agua y se recolecta en un recipiente calibrado. El solvente vaporizado también se condensa, remoja la muestra y extrae el aceite. La muestra se seca al horno y se pesa. El contenido de aceite es determinado por diferencia gravimétrica.

5.5.2.1 EQUIPOS Y REACTIVOS

Los siguientes aparatos son adecuados para este método y son ilustrados en la Figura 5-3. El aparato debe ser instalado en una campana extractora de gases o un cuarto adecuado para evacuar los vapores del solvente.

- a. El Equipo consiste de un calentador eléctrico o un aparato calentador con controles termostáticos. La unidad de destilación/extracción para una muestra consiste de un frasco de ebullición, un cartucho, sifón o trampa calibrada, y un condensador.
- b. Frasco: El frasco es de boca ancha, cuello largo, y puede contener hendiduras en la base del cuello para soportar el cartucho de extracción.
- c. Sifón: El sifón o la trampa tiene una sección graduada marcada en divisiones de 0.1 ml. El sifón graduado puede ser grande o pequeño para acomodar las muestras con diferentes volúmenes de agua. Junto a la sección graduada está un tubo o la trampa de vidrio doblado en ángulo recto con una articulación de vidrio en el extremo. La articulación de vidrio tiene una punta de gotera y la abertura en la punta debe ser diseñada para que el solvente que gotea se dirija al centro del frasco para asegurar el remojo del tapón de núcleo que se encuentra debajo. Una modificación en el sifón (Figura 5-4) permite determinar el agua gravimétricamente.
- d. Condensador: El condensador es refrigerado por agua, de reflujo, de tubo de vidrio, con una envoltura condensadora de aproximadamente 11.8 pulgadas (300 milímetros) de largo y una cámara de aire (ver Figura 5-3). El fondo tiene una punta de gotera y el tubo interior debe ser vertical para reducir la dificultad para remover el agua de las superficies del condensador y la trampa.
- e. Soporte desecante - Se conecta un soporte desecante de tubo de vidrio en la parte superior del condensador cuando se están extrayendo muestras y se utiliza un tapón de caucho cuando el aparato está inactivo.
- f. Cartuchos de extracción - Se recomienda un cartucho de vidrio con fondo de vidrio poroso para sostener la muestra de tapón. Alternativamente, se puede utilizar un cartucho de celulosa. Sin embargo, los tipos de materiales de cartuchos diferentes a vidrio pueden causar errores en peso por la absorción de agua atmosférica. Además, los cartuchos de vidrio permiten ver el tapón para asegurar que el solvente está goteando y remojando la muestra para una extracción completa. Se puede utilizar un pequeño fragmento de lana de vidrio

para cubrir el tapón de núcleo para prevenir erosión por el reflujo de solvente del condensador.

- g. Vaso de extracción - Se pueden utilizar vasos adaptadas con sifones para sostener los cartuchos y permitir ciclos alternantes de inmersión/drenaje. Esto puede incrementar la eficiencia del proceso de extracción.
- h. Horno de secado - Se puede utilizar un horno de convección o de vacío que tenga un control de temperatura de $+2^{\circ}\text{C}$. Se prefiere un modelo a prueba de explosión, pero se pueden utilizar modelos que no son a prueba de explosión. Para muestras que contienen grandes cantidades de montmorillonita y otras arcillas, se puede utilizar un horno de humedad para ayudar a preservar una capa de agua sencilla o doble para aproximarse mejor al estado de hidratación esperado de las arcillas en el yacimiento. (Los niveles de humedad durante los procedimientos de secado son importantes para mantener las aguas de hidratación apropiadas.)
- i. Perlas de ebullición - Se pueden colocar glóbulos de vidrio o pequeños recortes de material de alundum (alúmina u escoria de óxido de aluminio) en el fondo del frasco de ebullición. Estos ayudan a reducir la tendencia del solvente a "golpearse" cuando se vuelve más saturado de aceite. Si ocurre un golpe o un calentamiento excesivo, se crea un proceso de ebullición indeseable, contaminando la muestra y extendiendo el tiempo requerido para la fase inicial del proceso de extracción por destilación.
- j. Solvente: Tolueno (calidad reactivo) u otro solvente adecuado

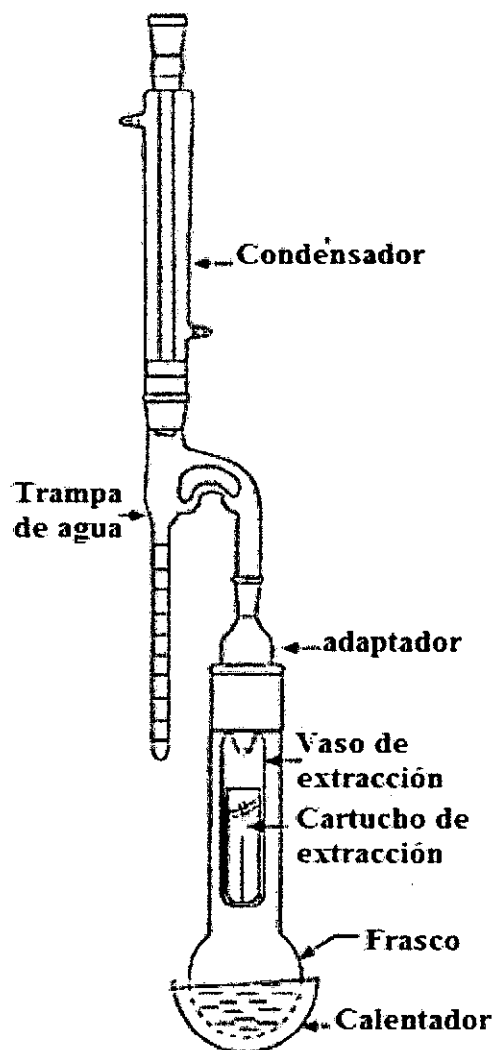


Fig. 5-3: Equipo de destilación volumétrica - Dean Stark

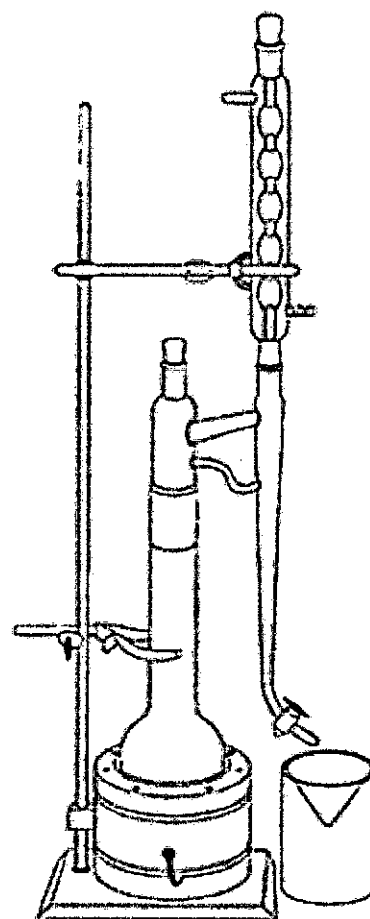


Fig. 5-4 :Equipo de Extracción gravimétrica - Dean Stark

5.5.2.2 Procedimiento

- 1) Se preparan las muestras utilizando un fluido compatible con el fluido utilizado para cortar el núcleo entero o los núcleos de pared perforados en el pozo. Esto asegura la preservación de aceite residual o la saturación de agua dependiendo del uso del fluido base aceite o agua. En el caso de las muestras congeladas, se debe utilizar nitrógeno líquido. El fluido restante que permanece en la muestra después del recorte de los extremos debe limpiarse utilizando un material que removerá el fluido superficial pero no extraerá el fluido del interior como una esponja. Este proceso se asemeja a la acción de una escobilla de goma. La superficie de la muestra debe tener una apariencia seca (con un brillo opaco) y no brillante con un exceso de fluido.

- 2) La muestra de tapón debe pesarse con una exactitud de un miligramo (0.001 gramos) con una balanza analítica. El proceso debe realizarse rápidamente para minimizar la evaporación de los fluidos en la muestra. Después del peso final, las muestras y/o cartuchos deben colocarse dentro del aparato inmediatamente, o deben almacenarse en un recipiente para prevenir la evaporación hasta que se coloquen dentro del aparato. Este periodo de almacenamiento debe mantenerse al mínimo. La necesidad de pesar cada componente es para asegurar la explicación para la pérdida de peso. Cuando se utilizan cartuchos de extracción, estos se deben encontrar a temperatura ambiente y deben estar completamente secos.
- 3) Las muestras son extraídas con un solvente que no aporta ni absorbe el agua recolectada. Se puede acondicionar el solvente agregando al menos 1 por ciento de agua por volumen al solvente e hirviendo el solvente previamente hasta que se estabilice la concentración de agua. Algunos laboratorios agregan el 15 por ciento de agua por volumen al solvente. El agua debe estar en exceso de la cantidad requerida para llevar a los solventes comunes al equilibrio cuando se evapora el agua por ebullición. El soporte del desecante asegura que la humedad atmosférica no afecta el agua recolectada. El agua puede adherirse al condensador y al costado de la trampa. Este fluido puede causar un error apreciable, especialmente para una muestra de tapón de baja porosidad. El agua adherida se puede desalojar con un chorro rígido de solvente de una botella de presión o un alambre de calibre pequeño con un anillo muy pequeño al final. Se utiliza el alambre para desalojar físicamente las partículas de agua que no se pueden remover con el chorro de solvente. A veces se utiliza detergente para aplanar la zona interfacial solvente/agua para una precisión mejorada. Pero por lo general no se recomienda el uso de detergente porque los efectos de una interacción de fluidos trifásica son impredecibles y se alterará la humectabilidad de la muestra.
- 4) El proceso de destilación/extracción continúa durante un mínimo de 48 horas. Se deben supervisar los niveles de agua a diario y se debe parar el proceso únicamente cuando no hay cambio en el volumen de agua recobrada en 24 horas. Se pueden requerir periodos más largos dependiendo del tamaño de la muestra de tapón y su permeabilidad. Esto es para asegurar

que el solvente utilizado ha extraído todo el aceite posible del material de tapón. Cuando se trata de aceite viscoso (baja gravedad, alto asfalteno), se requiere otro tipo de solvente para limpiar el tapón completamente. Se debe guardar un registro completo de los volúmenes de agua recolectados. Se puede incrementar la velocidad de extracción y la eficiencia utilizando vasos de extracción dotados de sifones.

- 5) Los métodos alternativos que aceleran la extracción implican el uso del aparato descrito hasta que la cantidad de agua recolectada se encuentra en un punto final estable, y luego se realiza uno de los siguientes procedimientos con las muestras y los cartuchos:
 - a. Coloque las muestras en una unidad de fases de vapor para terminar la extracción de aceite.
 - b. Coloque las muestras en un limpiador de núcleos a presión con CO₂-tolueno para terminar la extracción de aceite. Esto debe limitarse a las muestras competentes de baja permeabilidad que no serán alteradas físicamente por este proceso.
 - c. Coloque la muestra en un extractor Soxhlet para alternar la extracción de aceite de tipos inmersión y drenaje.
 - d. Coloque la muestra en un aparato de extracción de aceite de flujo continuo.
 - e. Alterne entre tipos de solvente (tolueno y metanol)
- 6) La eficiencia de extracción se evalúa tratando la muestra con cloroteno bajo una fuente de luz ultravioleta para determinar si aún existe aceite, que despiden rayos de luz fluorescente, o midiendo la densidad del grano de la muestra. Si la densidad de grano es menor que la anticipada para el tipo de roca, la muestra puede necesitar una extracción adicional.
- 7) Luego se debe secar la muestra o cartucho hasta lograr un peso estable. Las muestras con altas saturaciones de solventes inflamables deben ser secados en un horno de convección o de vacío a prueba de explosión, hasta que el solvente adicional se evapore antes de meterse al horno. Esto evita una posible explosión o incendio.
- 8) Cuando se seca la muestra/el cartucho, se debe permitir que se enfríe a temperatura ambiente en un recipiente sellado tal como un desecador y luego se pesa.

- 9) No se debe utilizar un horno que agregue humedad a la muestra para este paso. Sin embargo, cuando se van a medir porosidad y permeabilidad, las muestras que contienen grandes cantidades de montmorillonita y otras arcillas pueden requerir el secado en un horno de humedad para preservar el estado hidratado encontrado en el yacimiento. (El nivel de humedad en el horno es importante para mantener las aguas de hidratación apropiadas para medir permeabilidad y porosidad).
- 10) Puede haber errores si no se tiene en cuenta un cartucho perforado, la pérdida de pequeñas partículas, y/o la pérdida en la superficie de la muestra por la sal precipitada de salmueras concentradas. En el caso que ocurra una precipitación de sal pesada, se remueve la sal de la muestra por extracción con metanol u otro solvente similar. Luego se seca y se pesa la muestra.
- 11) El peso del agua recolectada en la trampa se resta de la pérdida total de peso líquido para determinar el peso del aceite extraído de la muestra de tapón.
- 12) Un flujo de agua apropiado en el condensador mantendrá la temperatura lo suficientemente fresca para que los vapores se condensen en la tercera parte del fondo de la columna del condensador.

5.5.2.3 CÁLCULOS

Los siguientes cálculos son apropiados:

1. Porcentaje en peso de agua:

- a. Método Gravimétrico:

$$\%W = \frac{W_{agua}}{W_o \text{ muestra}} \times 100$$

- b. Método Volumétrico:

$$\%W = \frac{Volumen_{agua} \times Densidad_{agua}}{W_o \text{ muestra}} \times 100$$

2. Porcentaje en peso de Sólidos:

- a. Método Gravimétrico

$$\%W_{solidos} = \frac{W_{muestra \text{ seca}}}{W_o \text{ muestra}} \times 100$$

3. Porcentaje en peso de aceite

- a. Método gravimétrico:

$$\%W_{Aceite} = \frac{W_{o\text{ muestra}} - W_{muestra\text{ seca}} - W_{agua}}{W_{o\text{ muestra}}} \times 100$$

4. Las saturaciones normalmente son expresadas como porcentajes de espacio poroso de la muestra. Por lo tanto, se requieren la porosidad de la muestra, la densidad del agua, y la densidad del aceite. Si el agua connata es una solución salina altamente concentrada, la densidad del agua debe corregirse para la sal en la solución. Se aplican los siguientes cálculos:

- a. Saturación de agua: S_w

$$S_w = \frac{\text{Volumen de agua} \times 100}{\text{Volumen poroso}}$$

- b. Saturación de aceite: S_o

$$S_o = \frac{\frac{\text{Peso aceite}}{\text{Densidad Aceite}} \times 100}{\text{Volumen poroso}}$$

5. El contenido líquido de la muestra es reportado con una exactitud del 0.1 por ciento de espacio poroso, 22.1 por ciento de aceite y 43.7 por ciento de agua.
6. Conociendo la salinidad y la densidad de la salmuera, uno puede calcular el volumen de salmuera que se encontraba en el núcleo del volumen de agua destilada recobrada de la siguiente manera:

$$V_{br} = \frac{(V_w)(\rho_w)}{\rho_b} \frac{1'000,000}{(1'000,000 - C_s)}$$

Donde:

- V_{br} : volumen de salmuera correspondiente al volumen de agua destilada recobrada del tapón, cm³
- V_w : volumen de agua destilada recobrada del tapón (Dean-Stark), cm³
- ρ_w : densidad del agua destilada, gr/cm³
- ρ_b : densidad de la salmuera que tiene una concentración de C_s de sal, gr/cm³
- C_s : la concentración de sales disueltas en la salmuera:

$$C_s = \frac{(1000,000)(\text{Peso de la sal})}{\text{Peso de la salmuera}}, \text{ppm}$$

5.5.2.4 VENTAJAS

Las ventajas de este método incluyen:

- a. Las determinaciones del volumen de agua por lo general son bastante exactas.
- b. Generalmente, la muestra no se daña y puede utilizarse para pruebas adicionales. Sin embargo, su humectabilidad puede ser alterada y ciertas arcillas (ejemplo, montmorillonita) o yeso también pueden ser sujetos a cambios.
- c. Se utilizan temperaturas relativamente bajas [212°F (100°C)]; por lo tanto, se remueve poco o nada de las aguas de hidróxilo en la arcilla.
- d. El procedimiento es sencillo y requiere poca atención durante la destilación.

5.5.2.5 LIMITACIONES

Las limitaciones de este método incluyen:

- a. Pueden aparecer errores en la determinación de agua debido a los siguientes:
 1. El agua atmosférica se condensa en el condensador cuando la humedad atmosférica es alta. Se pueden utilizar tubos disecantes para evitar este problema.
 2. El agua se evapora de la muestra a temperatura ambiente cuando esta no se instala inmediatamente en el extractor con la circulación de agua de condensador.
 3. Las perlas de agua se adhieren al vidrio sucio en el brazo lateral o el condensador.
 4. Se puede precipitar la sal dentro de la muestra por salmueras connatas (agua intersticial salina). Esto puede resultar en cambios significativos en la porosidad y/o permeabilidad. Se puede remover la sal de la muestra con una extracción por metanol.
 5. Se requiere una corrección por la mayor densidad del agua salada cuando la concentración total de sólidos se pasa de 20.000 ppm.
 6. El secado incompleto de solventes.
 7. La pérdida de agua debido a que las uniones en el frasco de extracción no son herméticas, o que las temperaturas de extracción sean demasiado altas, o de un flujo de agua insuficiente en el condensador.
 8. Se debe considerar la flotabilidad de la densidad del aire solo cuando la muestra se pesa con una precisión de 0.1 mg.
 9. El tiempo de extracción puede ser insuficiente.

10. La saturación de agua puede ser demasiado alta si las muestras contienen grandes cantidades de yeso (ver 4.8) o arcillas de montmorillonita (agua de hidratación). Los valores de permeabilidad y porosidad también pueden alterarse si las aguas de hidratación presentes en el yacimiento son removidos durante los procedimientos de extracción y secado (se prefiere el secado en un horno de humedad).

11. Si no se conoce la verdadera densidad del aceite, se introduce un error en el cálculo de saturación de aceite porque se debe suponer un valor para la densidad del aceite.

b. Los volúmenes de aceite no se encuentran directamente y pueden ser erróneos debido a los siguientes:

1. Agua adicional recolectado o perdido de la muestra mencionada arriba.

2. Pérdida de sólidos.

3. Limpieza incompleta del aceite.

4. Secado a una temperatura más alta que la temperatura de extracción puede remover agua de hidratación adicional y dar un valor exagerado para el volumen de aceite.

c. La humectabilidad de la roca puede alterarse.

d. El material de la arcilla puede alterarse, y esto puede resultar en unas mediciones de permeabilidad erróneas.

5.6 DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD

La porosidad, definida como la relación del volumen poroso respecto al volumen total del material, es una propiedad intrínseca de todas las rocas de yacimientos. Se debe conocer la cantidad de espacio vacío que puede ser ocupado por hidrocarburos o agua en un yacimiento para obtener un cálculo inteligente de la cantidad inicial de petróleo/gas en el sitio. El nivel de precisión con el cual se puede determinar la porosidad es en general una función de los métodos utilizados en estas mediciones.

Varias herramientas de registro utilizadas en los métodos eléctricos, nucleares, sínicos o de densidad son utilizadas para la determinación continua de porosidad en el pozo. Las mediciones obtenidas con estas herramientas de registro deben ser calibradas con las porosidades del núcleo determinadas bajo condiciones subterráneas simuladas, teniendo en cuenta el volumen de roca investigado por las herramientas de registro. Se deben considerar también los efectos de las desviaciones

en las muestras de núcleo, la frecuencia de muestra y el volumen de muestra. Con una sola excepción, siempre se refiere a la determinación de porosidad que va de cero (0) a <400 psi (2760 kPa) de esfuerzo restrictivo.

A menos que se especifique lo contrario, los métodos de análisis descritos son aplicables a tapones de núcleo cilíndricos perforados de rocas consolidadas y relativamente homogéneas. La porosidad obtenida con el análisis de núcleos puede ser averiguada por varios métodos diferentes (ver Tabla 5-7). La medición del volumen total (BV) y del volumen del Grano (GV) nos da el volumen poroso (PV) por diferencia, y porosidad (ϕ) así:

$$V.P = (VB - VG)$$

$$\phi = \frac{(VB - VG)}{VB} \dots \dots \dots (1)$$

La medición directa del Volumen poroso (VP) y del Volumen del grano (VG),
da como resultado:

$$\phi = \frac{(VB - VG)}{VB} \dots \dots \dots (2)$$

La medición directa del volumen del poro (VP) y del Volumen total (VB) da como resultado:

$$\phi = \frac{VP}{VB} \dots \dots \dots (3)$$

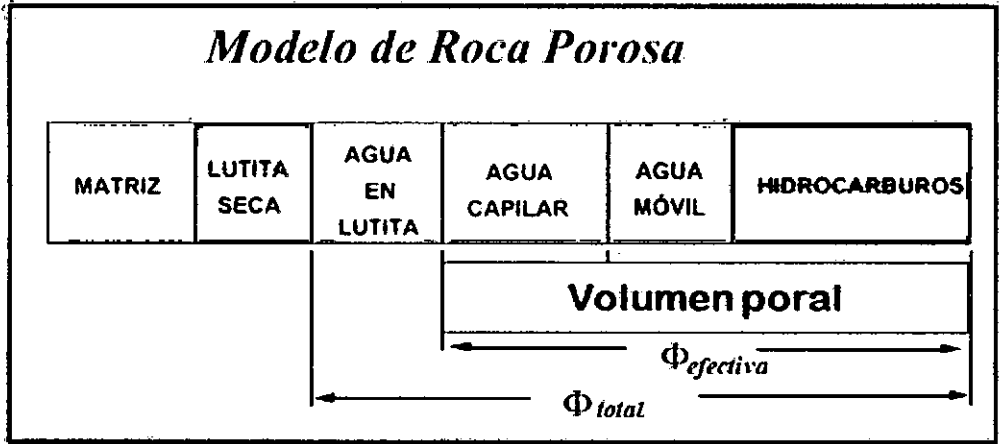
En el laboratorio, por lo general se mide uno de dos tipos de porosidad: estos son la porosidad efectiva o la porosidad total. Existe una diferencia entre la definición actual utilizada por los analistas de registros. Esto se complica aún más con las técnicas de análisis de núcleo diseñadas para dejar varios estratos moleculares de agua con arcilla o minerales dentro del espacio poroso (ver Figura 5-5).

En el campo de la interpretación de registros, la porosidad efectiva se ha definido como el volumen poroso interconectado ocupado por los fluidos libres. En esta definición, la porosidad efectiva no incluye el volumen del agua ligada a arcilla o a minerales y en algunos enfoques analíticos, no incluye tampoco el agua adicional contenido dentro del shale por fuerzas capilares. Además, en el campo de la interpretación de registros, la porosidad total es ese volumen que ocupan todos los fluidos (espacio poroso conectado y aislado) en la roca, incluyendo el volumen ocupado por el agua unida a la arcilla (ver Figura 5-5).

La experiencia en el análisis de núcleos indica que para la mayoría de las rocas de yacimiento existen pocos poros aislados, y por lo tanto existe muy poco (o no existe) diferencia medible en la porosidad total y efectiva históricamente definida (Figura 5-5). Por lo tanto, con estas definiciones, la porosidad efectiva determinada con los análisis de núcleo en una muestra totalmente seca entre 210 °F y 240 °F (99°C a 116°C) corresponde más aproximadamente a la porosidad total definida por los analistas. En ciertas circunstancias, tal como el de las rocas volcánicas, puede haber una diferencia medible entre la porosidad efectiva (conectada) y la total (conectada y aislada) a partir del análisis del núcleo. Además, las técnicas de secado del núcleo pueden diseñarse de tal manera que se deja cierta cantidad de agua ligada en superficies minerales.

No existe un acuerdo universal entre los analistas de registros sobre la definición de porosidad efectiva (ver Figura 5-5). El menor valor para este parámetro se obtiene si todo el agua asociado con los shales (agua libre de aniones/adsorbida más el agua contenida en los capilares dentro del shale) se excluye como espacio poroso no efectivo. Se obtiene un valor más alto si se excluye únicamente el agua libre de aniones/adsorbida (definida como una función de la salinidad y también la capacidad de intercambio catiónico o la concentración de cationes en la arcilla por unidad de volumen poroso, meq/cm3). Las porosidades de núcleos basados en muestras secas con humedad controlada por lo general se encuentran entre este valor más alto y el valor de la porosidad total. En este momento es difícil seleccionar las condiciones de laboratorio que produzcan una porosidad efectiva en las muestras de núcleo de conformidad con las definiciones de los analistas.

Figura 5-5 : Distribución de los fluidos en el espacio poral



Otro aspecto de la medición de porosidad, que en realidad se aplica a todo el campo del análisis de núcleos, es la selección entre un análisis convencional (muestra pequeña) o un análisis de diámetro completo. La decisión sobre el tipo que se debe utilizar preferiblemente se basaría únicamente en la homogeneidad de la formación que se está analizando. Muchas piedras areniscas son lo suficientemente homogéneas para que una muestra pequeña pueda considerarse representativa del incremento del análisis.

Por otro lado, cuando la formación es heterogénea en cuanto a la estructura de los poros o la litología, como es el caso de los carbonatos vugulares o fracturados, las técnicas de núcleo análisis de núcleo de diámetro total. Por lo tanto, el tamaño de la muestra requerido para representar la estructura de poros y la litología del material del núcleo adecuadamente, como también la estrategia de muestreo, deben controlar el tipo de análisis utilizado

Tabla 5.7. Índice de volúmenes Total, de grano y poroso

Nº	Método	Variable determinada
1	Inmersión en Mercurio (Principio de Arquímedes)	Volumen Bruto o Total
2	Volumen desplazado de Hg	Volumen Bruto o total
3	Medidor volumétrico o volumetros	Volumen Bruto o total
4	Flotabilidad (Arquímedes) con fluidos diferentes al Hg	Volumen Bruto o Total
5	Volumen de Granos + Volumen Poroso	Volumen Bruto o Total
6	Volumen poroso total de la densidad de muestra desagregada	Volumen del grano
7	Método de doble celda de la Ley de Boyle	Medición del Volumen del grano
8	Método de celda sencilla de la Ley de Boyle	Medición directa del volumen Del poro
9	Sumatoria de porosidad de líquidos	De la suma del volumen total y Del poro
10	Método de saturación de líquidos	Medición directa del volumen Del poro
11	Rocas ricas en materia orgánica	Volumen de gas absorbido

5.6.1 MEDICIÓN DEL VOLUMEN BRUTO O TOTAL (TAMAÑO DEL TAPON)

Se requiere el volumen total de una muestra de roca para determinar la porosidad de esa muestra. El volumen total de un tapón de núcleo puede ser determinado por varios métodos. Las técnicas de medición incluyen la inmersión de Arquímedes, el desplazamiento de mercurio y por medidor.

Los volúmenes totales también pueden determinarse sumando las mediciones directas del volumen de grano y el volumen poroso.

El volumen total de una muestra seleccionada para la medición de porosidad debe medir preferiblemente por lo menos 10 cm³. Normalmente, las muestras son cilindros rectos con diámetros desde los 2.54 cm hasta 3.81 cm y longitudes de por lo menos 2.54 cm y 3.81 cm respectivamente. Se pueden utilizar formas irregulares tomando las precauciones adecuadas si no se pueden obtener muestras de dimensiones regulares.

5.6.2 METODO DE INMERSIÓN EN MERCURIO (PRINCIPIO DE FLOTABILIDAD DE ARQUIMEDES)

Se sumerge un tapón de núcleo en mercurio y el volumen del mercurio desplazado por la muestra se determina gravimétricamente (Principio de Arquímedes).

5.6.2.1 VENTAJAS

Las ventajas de este método incluyen:

- a. Las muestras pueden utilizarse para pruebas posteriores siempre que no ocurra una penetración del mercurio. Resulta práctico para obtener el volumen bruto cuando se hacen varios análisis diarios y cuando las muestras están bien cementadas.
- b. El método es exacto si se utiliza una técnica cuidadosa y se hacen mediciones precisas.

5.6.2.2 LIMITACIONES

Las limitaciones de este método incluyen:

- a. La retención de aire alrededor de las muestras creará errores y producirá volúmenes totales demasiado altos.
- b. Las muestras con cavidades o que tengan una permeabilidad extremadamente alta serán penetradas por el mercurio, resultando en valores de volumen total bajos

y dejando las muestras inservibles para pruebas adicionales. Las muestras que tienen una superficie con cavidades o que contengan fracturas abiertas no son recomendadas para el análisis de volumen total por inmersión de mercurio. Sin embargo, si es necesario la superficie de la muestra debe sellarse para evitar la penetración del mercurio. Es posible que este no sea un tratamiento adecuado.

1. Se pueden utilizar materiales tales como tubería de Teflón de termoencogible para recubrir las superficies cilíndricas de una muestra para tapar las fisuras. El volumen de cualquier cobertura debe restarse del volumen total medido, y no deben existir espacios de aire entre la tubería y la roca en superficies que no tengan fisuras.
2. Se pueden llenar las fisuras en la superficie (con arcilla, parafina o un epoxi), lo cual permitirá una medición directa del volumen total cuando se sumerja la muestra en el mercurio. Por lo general, el llenado de las fisuras es una prueba destructiva y debe ser el último paso en el análisis.

5.6.2.3 EXACTITUD

La medición del peso puede repetirse con una precisión de ± 0.015 gramos si no hay aire retenido cuando se sumerja la muestra y la temperatura permanezca constante. Las mediciones de volumen total pueden repetirse con una precisión de ± 0.01 cm³.

5.6.2.4 EQUIPOS

Los siguientes equipos son apropiados para este método:

- a. Balanza analítica electrónica de una sola bandeja, con una precisión de ± 0.01 g.
- b. Picnómetro de mercurio.
- c. Mercurio para llenar el recipiente para sumergir los tapones completamente.
- d. Tenedor ajustable con marca de referencia.
- e. Termómetro

5.6.2.5 PROCEDIMIENTO

1. Pesar la muestra seca al aire: W_m /seca
2. Pesar el picnómetro lleno de mercurio: W_{p+Hg}

3. Introducir la muestra dentro del picnómetro lleno de mercurio. La muestra se sumerge retenida por agujas de acero de la tapa.
4. Pesar el picnómetro lleno con (mercurio + muestra sumergida), densidad del mercurio 13.546 gm/cc: W_{p+Hg+m}
5. Al peso de la diferencia entre el peso del picnómetro lleno de mercurio de "2" restar el peso del picnómetro con mercurio con la muestra sumergida "4" + el peso de la muestra seca, esto nos da el peso del mercurio desplazado.
6. Determinar el volumen del mercurio desplazado, el cual será a su vez el volumen bruto de la muestra (tapón). Ver Figura 5-6

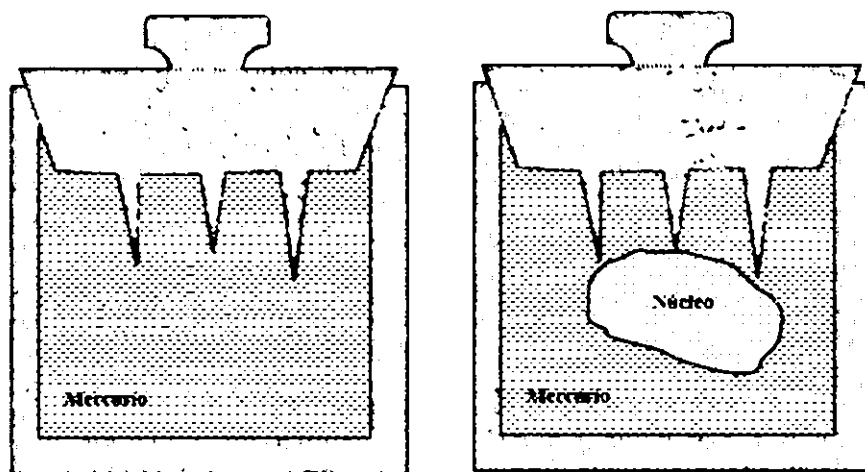


Figura 5-6(a) PICNOMETRO DE ACERO (b) PICNOMETRO DE ACERO CON MUESTRA

5.6.2.6 CÁLCULOS

De la figura 5-6 (a): $W_{picn} + W_{Hg} = W_{p+Hg} \dots \dots (1)$

De la figura 5-6 (b): $W_{picn} + \rho_{Hg} V_{Hg} + V_m + W_{m\ seca} = W_{p+Hg+m} \dots (2)$

Desarrollando la ecuación (2):

$$W_{pic} + \rho_{Hg} * V_{Hg} + \rho_{Hg} * V_m + W_{m\ seca} = W_{p+Hg+m} \dots \dots (3)$$

Restando (3) – (1):

$$\rho_{Hg} * V_m + W_{m\ seca} = W_{p+Hg+m} - W_{p+Hg}$$

Despejando:

Donde:

V_m : Volumen total o bruto de la muestra

ρ_{Hg} : Densidad del mercurio

5.6.3 MÉTODO DE FLOTABILIDAD CON FLUIDOS DIFERENTES AL MERCURIO (SALMUERA, ACEITE REFINADO, TOLUENO)

Un cuerpo colocado en un líquido flota por una fuerza igual al peso del líquido desplazado. El volumen total también se puede determinar por inmersión de la muestra previamente saturada. Este método consiste en saturar la muestra con un líquido apropiado y luego determinar el empuje o efecto de flotabilidad, que ejerce el volumen de la muestra saturada sumergida en la misma clase de líquido empleado en la saturación. Haciendo un equilibrio de fuerzas se obtiene el volumen bruto o total de la muestra.

5.6.3.1 VENTAJAS

Las ventajas de este método incluyen:

- a. Se pueden lograr valores exactos si se utiliza la técnica adecuada.
- b. La muestra puede ser totalmente saturada con líquido para otras pruebas que así lo requieran
- c. Si la muestra está 100% saturada de un solo fluido antes de medir el volumen total, se pueden calcular el volumen poroso, el volumen del grano y la densidad del grano con los pesos registrados

5.6.3.2 LIMITACIONES

Las limitaciones de este método incluyen:

- a. El líquido puede ser inadecuado para pruebas posteriores y tendrá que removerse.
- b. Los núcleos que tengan fisuras no deben medirse por este método.
- c. No deben utilizarse líquidos que lixivien la muestra o que causen hinchazón de la matriz.
- d. Las fisuras o poros grandes en muestras con permeabilidad extremadamente alta se llenarán mientras la muestra se encuentra sumergida en el líquido resultando en bajos valores de volumen total.
- e. Esta no es una técnica recomendable para muestras envueltas con consolidación deficiente o no consolidada debido a la posibilidad de atrapar un volumen de fluidos extraños entre la superficie del tapón y el forro.

5.6.3.3 EXACTITUD

La medición del peso puede repetirse con una precisión de ± 0.015 gramos si no haya aire atrapado cuando se sumerja la muestra y si la temperatura permanece constante. La exactitud de las mediciones de volumen total variará dependiendo de la densidad y la volatilidad del líquido utilizado en las mediciones. Una buena técnica debe dar un volumen total repetible con una precisión de 0.01 cm^3 .

5.6.3.4 EQUIPOS

Se requiere una balanza analítica de inmersión con una precisión de un miligramo, un soporte de alambre fino, un recipiente para líquido y un termómetro.

El líquido empleado debe tener una baja viscosidad y tensión superficial, también como poder humectante para penetrar la muestra con facilidad. Para este fin se han empleado con resultado satisfactorio cloroformo, tetracloroctano y keroseno.

5.6.3.5 PROCEDIMIENTO

- a. El primer paso es pesar la muestra seca al aire, es decir la muestra que se le ha extraído los fluidos. Esto se llama Peso de la muestra seca (W_{ms}).
- b. Luego se satura la muestra con un líquido de densidad conocida, tal como un aceite refinado ligero o un solvente de un alto punto de ebullición. La muestra puede ser esencialmente 100% saturada con líquido evacuando el espacio poroso, introduciendo el líquido saturante. Para este fin, la muestra extraída y secada se pone en un matraz y luego se coloca en su boca un tapón de caucho con dos llaves de paso. Una de las llaves de paso se conecta a una bomba de vacío y la otra a un embudo que contiene el líquido saturante. Una vez obtenido el vacío en el matraz, se cierra la válvula a la bomba de vacío y se abre la válvula del embudo admitiendo líquido al matraz hasta cubrir la muestra, teniendo cuidado de no admitir aire. Después de varios minutos se deja entrar aire llevando la presión del matraz a la presión atmosférica. Una vez que la muestra ha sido saturada se extrae con una pinza. Ver figura 5-7
- c. Se remueve el exceso de líquido cuidadosamente (evitando la pérdida de grano) de la muestra y luego la muestra saturada se pesa en el aire. Esto se llama Peso de la muestra saturada en el aire, Cuando se remueve el exceso de líquido de la superficie de la muestra ($W_{m/sat.}$). Se deben tomar precauciones para asegurar que no se remueven los fluidos de los poros expuestos en la

superficie. Se debe evitar el uso de materiales (como toallas secas) que remueven el líquido de los poros de la superficie por acción capilar, como también por método mecánico tal como la agitación violenta. Los métodos aceptables para remover el exceso de líquido son el de rodar la muestra sobre un trapo húmedo libre de pelusa o sobre una toalla de papel mojados con el líquido saturante, o de limpiar la muestra cuidadosamente con un trapo húmedo o con los dedos.

- d. Se llena un Vaso con líquido saturante. Un soporte de alambre fino (de diámetro máximo de 1.0 milímetro) conectado al estribo de una balanza se sumerge en el líquido hasta una marca de referencia, y la balanza se coloca en cero. Luego, se coloca la muestra en el soporte, se sumerge hasta la marca de referencia y se obtiene el peso sumergido de la muestra. Ver figura 5-8
- e. Se puede determinar el volumen poroso tomando (a) la diferencia en peso de la muestra 100% saturada en el aire y el peso de la muestra seco, sin saturar y b) dividiendo por la densidad del líquido saturante.

Nota: No es indispensable que la muestra esté 100% saturada con el líquido para poder determinar el volumen total. La técnica da un volumen total exacto siempre y cuando la muestra no esté absorbiendo líquido cuando se toma el peso mientras está suspendido bajo el líquido. Sin embargo, si la muestra no está 100% saturada, los resultados de mediciones como el volumen de poro, el volumen poroso, el volumen de grano, y la densidad de grano calculados con los pesos serán incorrectos.

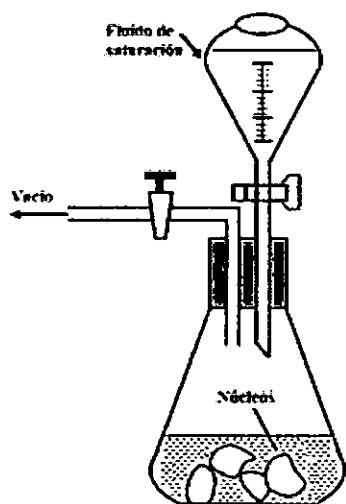


Figura 5-7: Equipo para saturar muestras

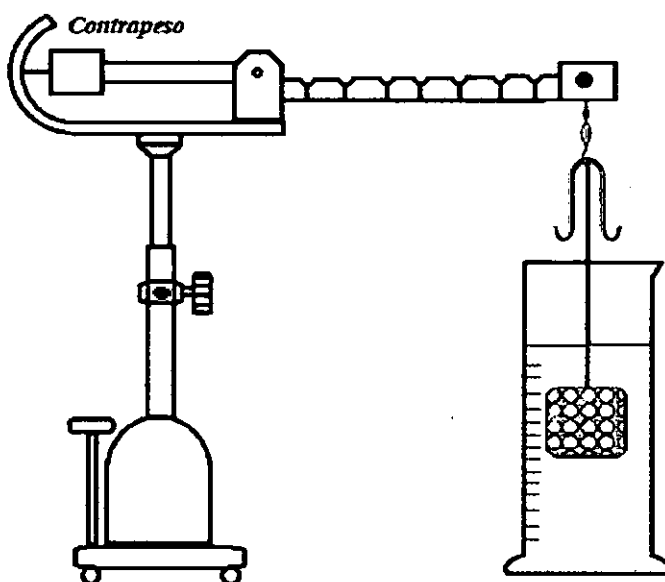


Figura 5-8 Balanza hidrostática para pesar muestras sumergidas en líquidos de densidad conocida

5.6.3.6 CÁLCULOS

El volumen total calculado con el aparato mostrado en la Figura 5-8 es igual al peso inicial de la muestra saturada (o parcialmente saturada con peso estabilizado) en el aire menos el peso cuando está sumergida, dividido por la densidad del líquido de inmersión. El volumen total calculado con el aparato mostrado en la figura 5-4B es igual al peso inmerso de la muestra saturada dividido por la densidad del fluido de inmersión

$$VB = \frac{\text{Peso de muestra saturada}_{\text{aire}} - \text{Peso de muestra saturada}_{\text{Inmersa}}}{\text{Densidad del fluido de inmersión}}$$

DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD:

- Calculo del Volumen Poroso (VP):

$$VP = \frac{\text{Peso de la muestra saturada}_{\text{aire}} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{densidad del fluido saturante}}$$

- Calculo de la Porosidad (ϕ) :

$$\phi = \frac{VP}{VB} * 100\%$$

5.6.4 VOLUMEN POROSO EFECTIVO DE MUESTRAS AGREGADAS

El volumen poroso efectivo puede calcularse restando el volumen de grano del volumen total de la muestra, o por medición directa del volumen vacío de la muestra.

5.6.5 MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE GRANO

5.6.5.1 MÉTODO DE DOBLE CELDA DE LA LEY DE BOYLE (CUBETA MATRIZ) PARA EL VOLUMEN DE GRANO

5.6.5.1.1 PRINCIPIO

LEY DE BOYLE: Cuando la temperatura permanece constante, el volumen de una masa dada de gas ideal varía inversamente con su presión absoluta.

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

Se requiere una extensión de la ecuación para contabilizar la variación de temperatura y el comportamiento que tiene un gas no ideal para lograr una determinación exacta del volumen de gas.

$$\frac{P_1 * V_1}{Z_1 * T_1} = \frac{P_2 * V_2}{Z_2 * T_2}$$

Esta última ecuación debe utilizarse con un dispositivo de doble celda cuando se determina el volumen de grano de una muestra (VG). El gas entra en una celda de referencia que tiene un volumen conocido (V) a una presión de referencia predeterminada (100 o 200 psig). Luego se pasa el gas de la celda de referencia a una cámara conectada de volumen conocido que contiene una muestra del núcleo. Esto resulta en una menor presión de equilibrio, de la cual se calcula VG. Se resta posteriormente el VG del volumen total para determinar el volumen poroso y de ahí la porosidad.

5.6.5.1.2 VENTAJAS

Las ventajas de este método incluyen:

- a. No se daña la muestra de ninguna manera y por lo tanto puede utilizarse para otras mediciones.
- b. La operación es rápida, sencilla, y tiene un excelente nivel de repetitividad.
- c. Se pueden probar muestras que tengan formas irregulares o fisuras.

5.6.5.1.3 LIMITACIONES

Las limitaciones de este método incluyen:

- a. Se requiere una calibración extremadamente cuidadosa y frecuente para poder obtener un buen nivel de exactitud.
- b. Los cambios en temperatura o presión barométrica deben ser contabilizados en los cálculos.
- c. El valor de porosidad resultante será más alto que el valor de porosidad verdadero si se adsorbe el gas en las superficies de la muestra. El uso de helio minimiza esta posibilidad.
- d. Este método es adecuado para muestras forradas de consolidación deficiente o no consolidadas si se utilizan técnicas adecuadas. El volumen del material envolvente y los tamices en los extremos debe determinarse con precisión y debe restarse del volumen de grano aparente medido. El material envolvente y

el volumen sólido del tamiz se pueden determinar 1) por medición directa en el vaso matriz de la Doble Celda de la Ley de Boyle antes de utilizarla, o 2) el volumen del material envolvente se puede calcular del peso medido, y de la densidad del material envolvente previamente determinada.(Ver figura 5-9)

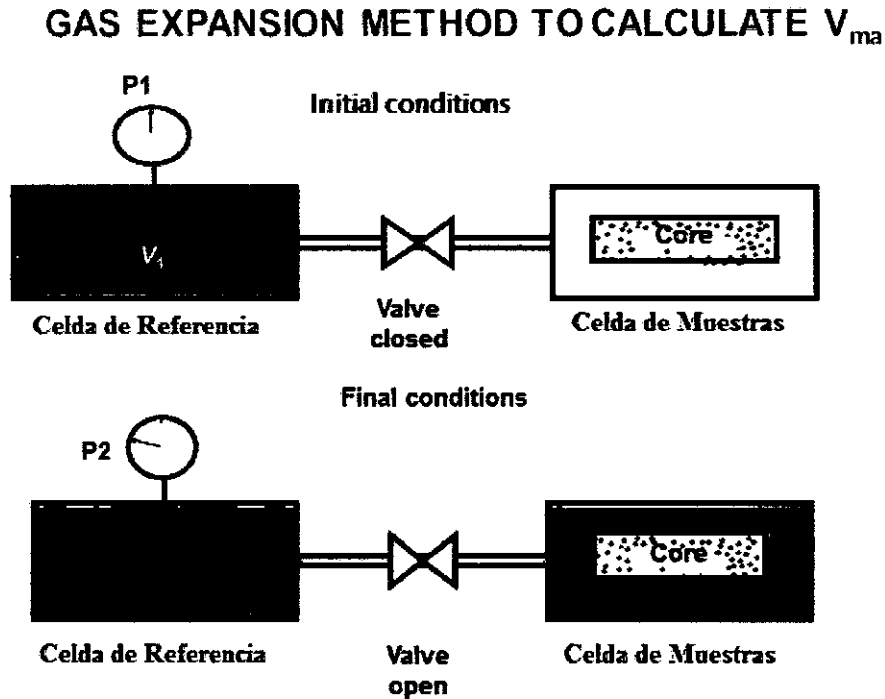


Figura 5-9 Medición del Volumen granular, método de la doble celda. Aplicación de la Ley de Boyle.

5.6.5.1.4 EXACTITUD

Un sistema bien calibrado determinará el volumen de grano con una precisión de $\pm 0.2 \%$ del valor real. Esto corresponde a aproximadamente $\pm 0.03 \text{ cm}^3$ en muestras de una pulgada de diámetro y aproximadamente 1 pulgada de largo y $\pm 0.1 \text{ cm}^3$ en muestras de $1 \frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro y 2 pulgadas de largo.

5.6.5.1.5 EQUIPOS

El volumen de grano se mide en un aparato que consiste de dos cámaras conectadas de volúmenes conocidos. La figura 5-9 muestra un ejemplo de tal aparato.

Nota : Para obtener mediciones precisas es importante: a) incorporar una válvula que tenga un volumen cero de desplazamiento (por ejemplo, una válvula de bola) entre el volumen de referencia y la cámara de muestras, o b) se debe

conocer el volumen de desplazamiento de la válvula. La válvula de bola debe ventilarse siempre a presión atmosférica antes de colocarla en su posición cerrada. Si se utiliza de esta manera, el volumen de la válvula se incorpora dentro del volumen de la cámara calibrada y las mediciones serán precisas. De lo contrario, el volumen de desplazamiento de la válvula debe ser medido y contabilizado en los cálculos para obtener una medición exacta del volumen del grano.

5.6.5.1.6 PROCEDIMIENTO

1. Se calibra primero el porosímetro, obteniendo el volumen de referencia de la cámara (V_r) y el volumen de la cámara de muestras (V_c).
2. Luego, se coloca la muestra en la cámara respectiva. Se deja entrar el helio en la cámara de referencia a una presión determinada, típicamente 100-200 psig (690-1380 kPa).
3. Se deben permitir alrededor de 30 segundos para que haya equilibrio en la presión, y luego se registra P_1 (la presión indicada por el transductor digital).
4. Se permite que el gas se expanda dentro de la cámara de muestras. Se mide la presión disminuida resultante (P_2) una vez que el sistema haya llegado a su equilibrio. Se calcula el volumen de grano de la muestra utilizando las ecuaciones de la ley de los gases indicadas anteriormente

5.6.5.1.7 CÁLCULOS

El volumen del grano de la muestra se calcula con la presión inicial de referencia de la cámara y la presión final del sistema por medio de la ecuación de la ley de los gases. El volumen poroso es la diferencia entre el volumen total y el volumen de grano

La siguiente ecuación para volumen de grano resulta del balance masivo de gas dentro de las cámaras de referencia y de muestras.

$$\frac{P_1 * V_r}{Z_1 * T_{1r}} + \frac{P_a (V_c - V_g)}{Z_a T_{1c}} = \frac{P_2 * V_r}{Z_2 T_{2r}} + \frac{P_2 (V_c - V_g + V_v)}{Z_2 T_{2c}}$$

Donde:

P_1 = presión absoluta del volumen de referencia inicial

P2 = presión absoluta expandida

Pa = presión atmosférica absoluta inicialmente en la cámara de muestras

Z1 = factor z del gas a P1 y T1

Z2 = factor z del gas a P2 y T2

Za = factor z del gas a T1 y a presión atmosférica.

T1r = temperatura absoluta del volumen de referencia a P1.

T1c = temperatura absoluta de la cámara de muestras a P1.

T2r = temperatura absoluta del volumen de referencia después de que P2 se haya estabilizado.

T2c = temperatura absoluta de la cámara de muestras después de que P2 se haya estabilizado.

Vg = volumen de grano.

Vc = volumen de la cámara de muestras.

Vr = volumen de la cámara de referencia.

Vv = volumen de desplazamiento de la válvula (de la posición cerrada a la abierta).

p1 = presión manométrica del volumen de referencia inicial.

p2 = presión manométrica final del sistema

Si existen condiciones isotérmicas ($T1 = T2$) y si los valores de "Z" se asumen iguales a 1.0, la ecuación anterior se reduce a:

$$V_g = V_c - \frac{V_r P_1 - P_2}{P_2 - P_a} + \frac{V_v P_2}{(P_2 - P_a)}$$

Si las presiones absolutas P1 y P2 se expresan como equivalentes a las presiones manométricas (es decir, $P1 = (p1 + Pa)$) y se sustituyen en la ecuación anterior, resulta lo siguiente:

$$V_g = V_c - V_r \frac{P_1}{P_2} - 1 + V_v \left(1 + \frac{P_a}{P_2}\right)$$

Si se utiliza un válvula de bola con volumen de desplazamiento cero, y si la válvula siempre se ventila a la atmósfera antes de cerrarla, Vv se incluye en el volumen de la cámara de muestras, $V_v = 0.0$ y la ecuación se simplifica aún más, así:

$$V_g = V_c + V_r \left(1 - \frac{P_1}{P_2}\right)$$

Nota: Los cálculos que ignoran los factores z o el volumen de la válvula en cantidades tan pequeñas como 0.1 cm³, pueden resultar en errores de porosidad de aproximadamente 0.5 puntos de porosidad.

5.6.6 PROCEDIMIENTOS HISTÓRICOS

Esta sección relaciona y resume las técnicas que se han utilizado siempre para medir la porosidad, el volumen total, el volumen de grano, y la densidad de grano. Estas técnicas por lo general han sido reemplazadas por otras técnicas más nuevas. Mayor información acerca de estos procedimientos se puede encontrar en la Primera Edición de API RP 40, API Prácticas Recomendadas para el Procedimiento de Análisis de Núcleos, Agosto de 1960.

5.6.6.1 DESPLAZAMIENTO DE MERCURIO

Esta técnica consiste en sumergir una muestra de núcleo seca en mercurio dentro de un picnómetro calibrado. Se pesa el volumen del mercurio desplazado por la muestra para determinar el volumen total de la muestra (API RP 40, 1960, Sección 3.311, p. 15; Sección 3.56, p. 26.)

5.6.6.2 MEDIDOR DEL VOLUMEN TOTAL

Este procedimiento también implica sumergir una muestra en mercurio. El volumen del mercurio desplazado por la muestra a su vez desplaza un segundo líquido en un tubo de vidrio inclinado y graduado. Se lee el volumen total de la muestra directamente del tubo de vidrio graduado (API RP 40, 1960, Sec 3.312, p. 15; Sección 3.57, p. 26.)

5.6.6.3 MÉTODO DE WASHBURN – BUNTING

El porosímetro de Washburn - Bunting mide el volumen poroso de la muestra. El aparato consiste de una cámara para muestras con un tubo capilar graduado en la parte superior y una llave de paso para abrir y cerrar el sistema hacia la atmósfera. Se conecta un tubo a la parte inferior de la cámara de muestras, el cual se conecta a una ampolla de vidrio llena de mercurio. Se coloca una muestra en la cámara respectiva. El procedimiento se inicia subiendo la ampolla de mercurio para mandar el mercurio a la cámara de muestras inundando la muestra y subiendo al capilar calibrado. Cuando el mercurio se encuentre por

encima de la llave de paso, esta se cierra. Se baja entonces la ampolla de mercurio hasta que la muestra quede flotando sobre el mercurio dentro de la cámara de muestras. La muestra se encuentra ahora al vacío, y el aire de los poros de la muestra llena la cámara de muestras y el capilar calibrado. Después de unos minutos, se restituye la presión atmosférica al aire que ha escapado subiendo la ampolla de mercurio hasta que su nivel sea igual al que se encuentra en el capilar. El volumen del aire en el capilar calibrado es igual al volumen poroso de la muestra de roca. Se puede mejorar la precisión restando el volumen de aire medido utilizando un lingote sólido en lugar de la muestra para contabilizar el aire adsorbido en la superficie de la muestra (API RP 40, 1960, Sección 3.3221, p. 17, Sección 3.5.12, p. 30.)

5.6.6.4 MÉTODO SECO PARA LA DENSIDAD DE GRANO Y EL VOLUMEN POROSO

En este procedimiento, se extrae la roca, se seca, se tritura y se cuela. La porción de la roca triturada que pasa a través de un tamiz de calibre 60 y queda atrapada en un tamiz de malla de calibre 100, se pesa y se coloca en la taza para muestras del aparato. Luego se utiliza una bomba de mercurio para bombear el mercurio a la taza para muestras. Cuando la presión del sistema alcance el valor de calibración preestablecida, se registra el volumen del mercurio inyectado. Con el cálculo del volumen de la taza vacía, se puede determinar el volumen total de la muestra en la taza. Utilizando el peso de la muestra, se puede calcular la densidad de grano. Utilizando una muestra de roca complementaria, se calcula el volumen de grano dividiendo el peso seco de la muestra complementaria por la densidad de grano calculada de la muestra molida. El volumen poroso puede determinarse restando el volumen de grano del volumen total medido de la muestra. (API RP 40 1960, Sección 3.3211, p. 16, Sección 3.59, p. 26.)

5.6.6.5 MÉTODO HÚMEDO PARA LA DENSIDAD DE GRANO Y EL VOLUMEN POROSO

Se mide el volumen total y se pesa y se tritura la muestra seca. La muestra triturada se coloca en un frasco volumétrico calibrado que contiene un volumen conocido de un fluido humectante adecuado (como tolueno, agua, etc.). El aumento del volumen es igual al volumen de grano de la muestra triturada. La

densidad de grano se puede calcular dividiendo el peso de la muestra triturada por su volumen medido. El volumen poroso puede calcularse restando el volumen de grano del volumen total. (API RP 40, 1960, Sección 3.3212, p. 16; Sección 3.59, p. 27.)

5.6.6.6 MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA DETERMINAR EL VOLUMEN BRUTO- MÉTODO DE RUSSELL

Este Procedimiento para medir el Volumen Total, aunque toma más tiempo que el método de desplazamiento de mercurio, tiene la ventaja de poderse emplear con muestras de cementación floja, con muestras de superficies irregulares. Debido a que el líquido desplazado es transparente puede verse si quedan atrapadas burbujas de aire, y en tal caso proceder a eliminarlas. Se requiere cierto cuidado y experiencia para remover satisfactoriamente el exceso de líquido después de la saturación.

El instrumento mostrado en la figura 5-10, está provisto de un tubo de lectura de lectura directa. El fluido saturante se vierte en el recipiente porta-núcleos, luego se invierte el instrumento y se obtiene una lectura de referencia que se considera como lectura "CERO". Enseguida se coloca la muestra saturada en el recipiente porta-núcleos y se invierte el instrumento para obtener una nueva lectura que restada de la anterior (CERO), nos dará el volumen total o volumen bruto de la muestra.

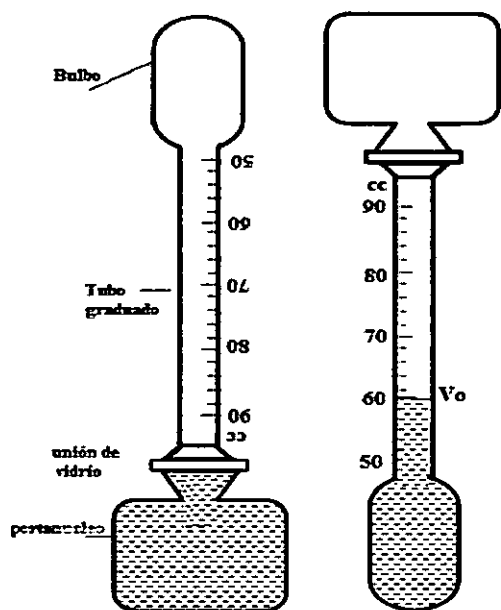


Fig. 5-10(a) Se llena inicialmente con fluido saturante se invierte y se toma la medida CERO

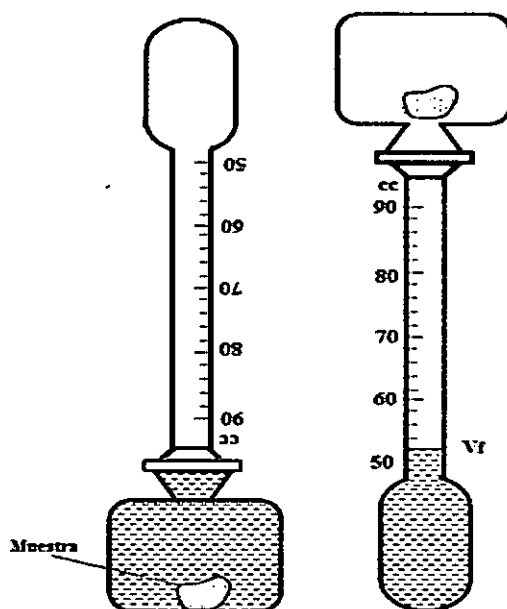


Fig. 5-10(b) Se coloca la muestra en el porta-núcleos y luego se invierte y se saca la medida final

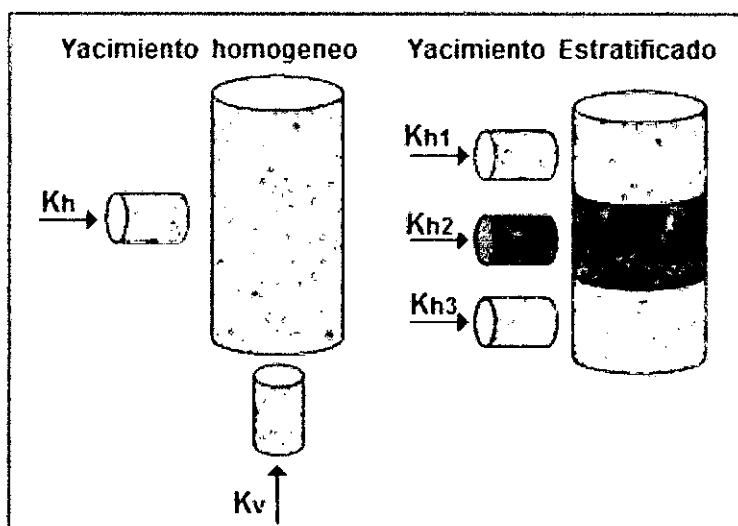
5.7 DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD

5.7.1 DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD ABSOLUTA

Las permeabilidades de formaciones de gas y petróleo comercialmente productivas varían desde pocos milidarcys a varios miles. La permeabilidad de un núcleo medida en el laboratorio puede variar considerablemente de la permeabilidad promedio del yacimiento o parte del mismo, ya que a menudo se presentan variaciones muy grandes en la dirección vertical y horizontal.

La permeabilidad es medida en el laboratorio utilizando tapones de núcleos (pequeñas piezas cortadas del núcleo). Si la roca no es homogénea, el análisis del núcleo completo proporcionará resultados más exactos que el simple análisis de tapones de núcleos.

La permeabilidad es una propiedad isotrópica del medio poroso, por lo tanto puede variar en función a la dirección a la cual es medida. Los análisis rutinarios de núcleos generalmente utilizan tapones de núcleos tomados paralelos a la dirección del flujo de los fluidos en el yacimiento. La permeabilidad obtenida de esta forma es la permeabilidad horizontal del yacimiento (K_h). La medición de la permeabilidad en tapones tomados perpendiculares a la dirección de flujo, permiten la determinación de la permeabilidad vertical del yacimiento (K_v).

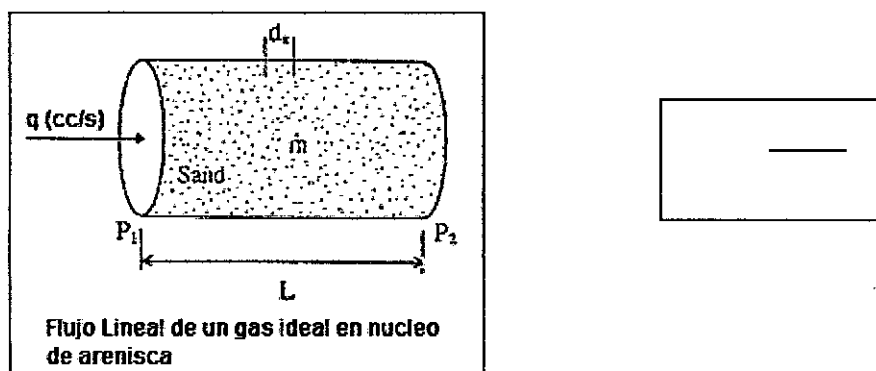


Existen muchos factores que deben ser considerados como posibles fuentes de error en la determinación de la permeabilidad de un yacimiento. Estos factores son:

- La muestra de núcleo puede no ser representativa del yacimiento, debido a la heterogeneidad del yacimiento.

- El núcleo extraído puede encontrarse incompleto.
- La permeabilidad del núcleo puede ser alterada cuando se realiza el corte del mismo, o cuando este es limpiado y preparado para los análisis.
- El proceso de muestreo puede ser alterado, debido a que solo son seleccionadas las mejores partes del núcleo para el análisis.

La permeabilidad es medida haciendo pasar un fluido de viscosidad μ conocida a través del tapón de núcleo, al cual se le han medido las dimensiones (A y L). Luego se determina la tasa de flujo “q” y la caída de presión ΔP . Resolviendo la ecuación de Darcy para la permeabilidad se tiene



Durante las mediciones de la permeabilidad se deben cumplir las siguientes condiciones:

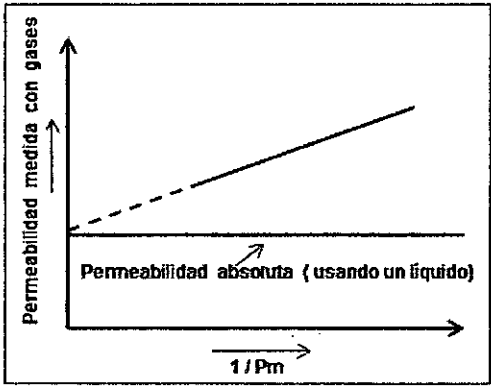
- Flujo laminar (viscoso).
- No reacción entre el fluido y la roca.
- Presencia de una sola fase saturando el 100% del espacio poroso.

5.7.2 DESLIZAMIENTO DEL GAS – EFECTO KLINKENBERG

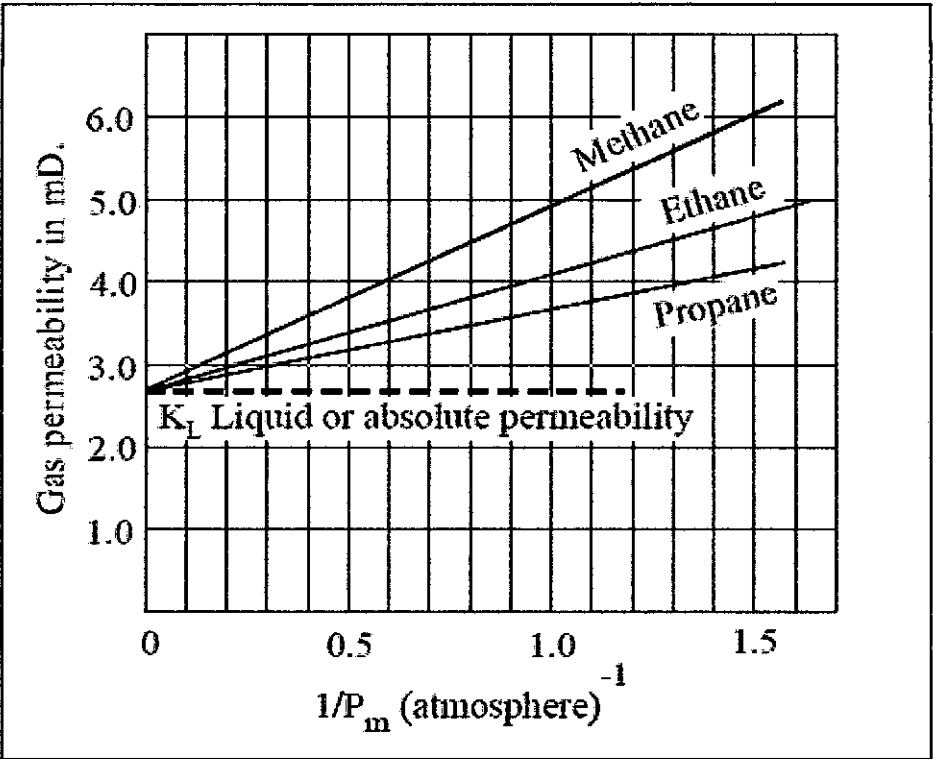
Klinkenberg descubrió que las mediciones de permeabilidad realizadas con aire como fluido de medición, muestran resultados diferentes a los valores de permeabilidad obtenidos cuando el fluido utilizado es un líquido. La permeabilidad de una muestra de núcleo medida por flujo de aire siempre es mayor que la permeabilidad obtenida cuando se usa un líquido. Klinkenberg postuló, en base a sus experimentos de laboratorio, que la velocidad del líquido en la superficie de contacto con la roca es cero, mientras que los gases presentan cierta movilidad en dicha superficie de contacto. En otras palabras, los gases se deslizan en las paredes de la roca. Este deslizamiento resulta en una elevada tasa de flujo para el gas a

determinado diferencial de presión. Klinkenberg también encontró que para un determinado medio poroso al aumentar la presión promedio la permeabilidad calculada disminuye.

Si se grafica la permeabilidad medida versus $1/P_m$, y la recta obtenida se extrapola hasta el punto donde $1/P_m = 0$, en otras palabras, donde P_m sea infinita, esta permeabilidad sería aproximadamente igual a la permeabilidad obtenida utilizando un líquido. La figura 11 muestra un gráfico donde se aprecia este procedimiento. La permeabilidad absoluta se determina por extrapolación, como se muestra en la figura.



La magnitud del efecto Klinkenberg varía con la permeabilidad del núcleo y con el tipo de gas usado en el experimento como se muestra en las figura



Efecto de la presión del gas en las medidas de la permeabilidad para varios gases

La línea recta que mejor ajusta los valores de permeabilidad medida usando gas versus $1/P_m$ puede ser expresada como:

$$K_g = K_l + C * \frac{1}{P_m}$$

Dónde:

K_g = Permeabilidad medida con un gas.

K_l = Permeabilidad medida con un líquido, equivalente a la permeabilidad absoluta.

P_m = Presión promedio

C = Pendiente de la recta.

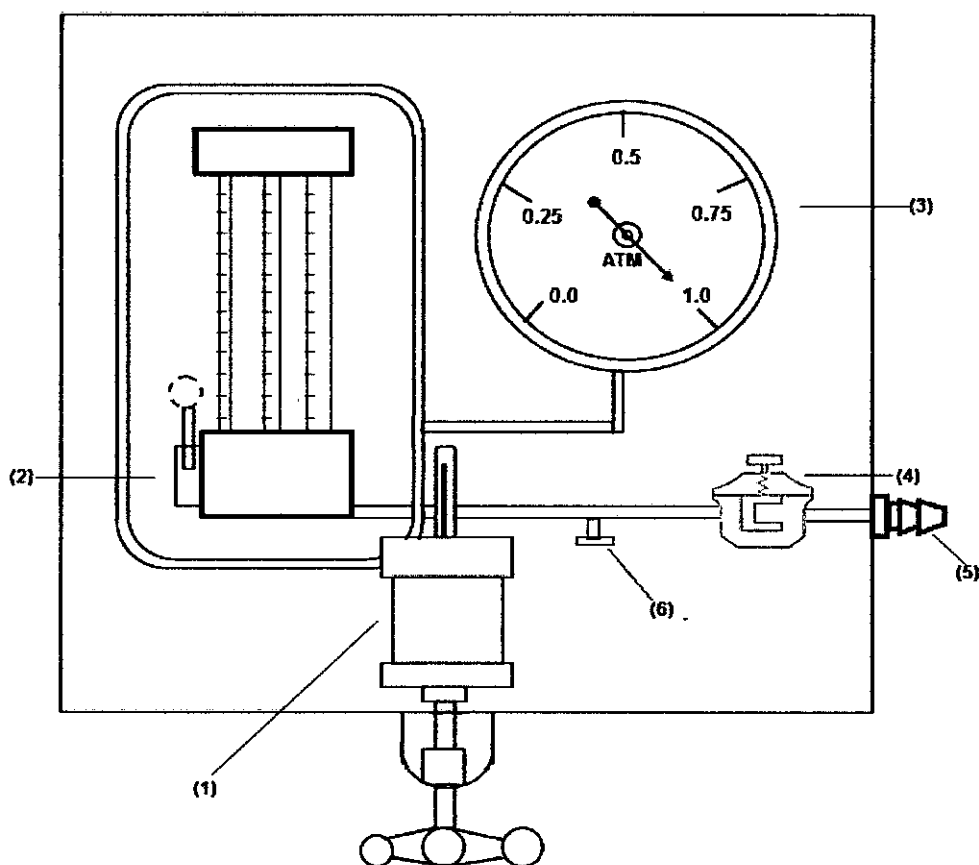
Klinkenberg sugiere que la pendiente de la recta es función de los siguientes factores:

- Permeabilidad absoluta.
- Tipo de gas usado en la medición de la permeabilidad.
- Radio promedio de los capilares de la roca.

5.7.3 PERMEÁMETRO DE GAS RUSKA N°1011

Este instrumento mide la permeabilidad de sectores de testigos consolidados, al forzar un gas de viscosidad conocida a través de la muestra cuya longitud y sección se han determinado previamente. La presión temperatura y flujo de gas que atraviesa la muestra se miden durante la prueba.

El instrumento consiste en: (1) Un recipiente equipado con termómetro, (2) Un medidor de flujo de gas con válvulas selectora triple, (3) Un manómetro tipo Bourdon calibrado, (4) Un regulador de presión, (5) Conexiones para la entrega de gas. Todas estas partes están conectadas y montadas sobre un panel. El regulador de gas está equipado con un tornillo de purga (6) que permite pequeños escapes de gas a la atmósfera para regular mejor la presión del gas.



La muestra se coloca en un recipiente de ajuste, el cual permite el escape a la atmósfera del gas que entra en el instrumento. EL termómetro indica la temperatura del gas que entra en el instrumento. El termómetro indica la temperatura del gas a la entrada de la muestra. La presión de gas que requiere la prueba, es ajustada con la válvula de la fuente de gas y se determina por la altura que alcanza el flotador en el tubo medidor de flujo.

El permeámetro está dotado de su respectiva curva de calibración que da el flujo de gas en cc/seg a la presión promedio. Las presiones a las que están calibradas los tres tubos, han sido seleccionadas para evitar turbulencias en el flujo durante la realización de la prueba. Si se rompiera uno de los tubos medidores, debe instalarse uno nuevo con el flotador y apropiadamente calibrado antes de realizar otra prueba.

La sinuosidad de las curvas de calibración especialmente la del tubo pequeño, son causados por irregularidades en el interior del tubo. Cabe señalar que estas curvas de calibración están ploteadas en papel logarítmico.

Para utilizar el permeámetro Ruska, se puede emplear cualquier clase de gas. Es recomendable el uso de nitrógeno comprimido, ya que es inerte y no tóxico, y el producto comercial generalmente posee un alto grado de pureza. La presión del gas

comprimido debe reducirse a un rango de 20-40 psia, con regulador auxiliar. Si se está utilizando aire, debe tenerse cuidado para no transmitir las pulsaciones del compresor a las líneas del instrumento. El gas para la prueba de (nitrógeno o aire) debe estar seco y limpio para lo cual se le hace pasar por un instrumento apropiado colocado en la línea de abastecimiento.

5.7.4 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras deben cortarse en secciones cúbicas o cilíndricas y es aconsejable estandarizar, para trabajos de rutina el tamaño del testigo, y sólo usar otros tamaños en casos muy particulares. El tamaño usual de las muestras es de 3/4" de diámetro por 1" de largo. La dirección del eje de la muestra debe tomarse en cuenta. Generalmente se desea encontrar la permeabilidad en ángulo recto al eje del testigo. Cuando se preparan muestras cúbicas, se puede utilizar la misma muestra para determinar la permeabilidad a lo largo de cualquier de los tres ejes.

Los núcleos de tamaño especial sólo deben prepararse cuando provienen de muestras sacadas de las paredes del pozo (side well core), o cuando el régimen de flujo de gas sobrepasa el rango del instrumento.

Después que se ha cortado la muestra al tamaño apropiado se debe extraer todos los fluidos que contenga y secarla cuidadosamente. Los solventes comunes usados en la extracción son: tetracloruro de carbono, tolueno, eter o pentano. No es recomendable usar testigos que han sido fuertemente calentados en el momento de extraerle el petróleo.

5.7.5 MÉTODO DE OPERACIÓN

La muestra separada, se coloca en el receptor de caucho apropiado, es insertada dentro de la camisa del recipiente; luego se cierra éste, mediante el tornillo de ajuste. La válvula selectora de flujo es colocada en "large" a la válvula reguladora de gas se abre lentamente hasta que se lea en el manómetro 0.25 atmósferas. Es aconsejable golpear ligeramente la luna del manómetro mientras se está ajustando la presión.

El rango preferido en los tubos, es de 20 a 40, se toma la lectura. Si permanece debajo, la palanca selectora se lleva a "medium" y la presión se incrementa a 0.5 atmósferas. Si aún la bolita flotadora no se eleva al rango deseado, la válvula selectora se lleva a "small" y la presión se incrementa a 1 atmósfera. Cuando el

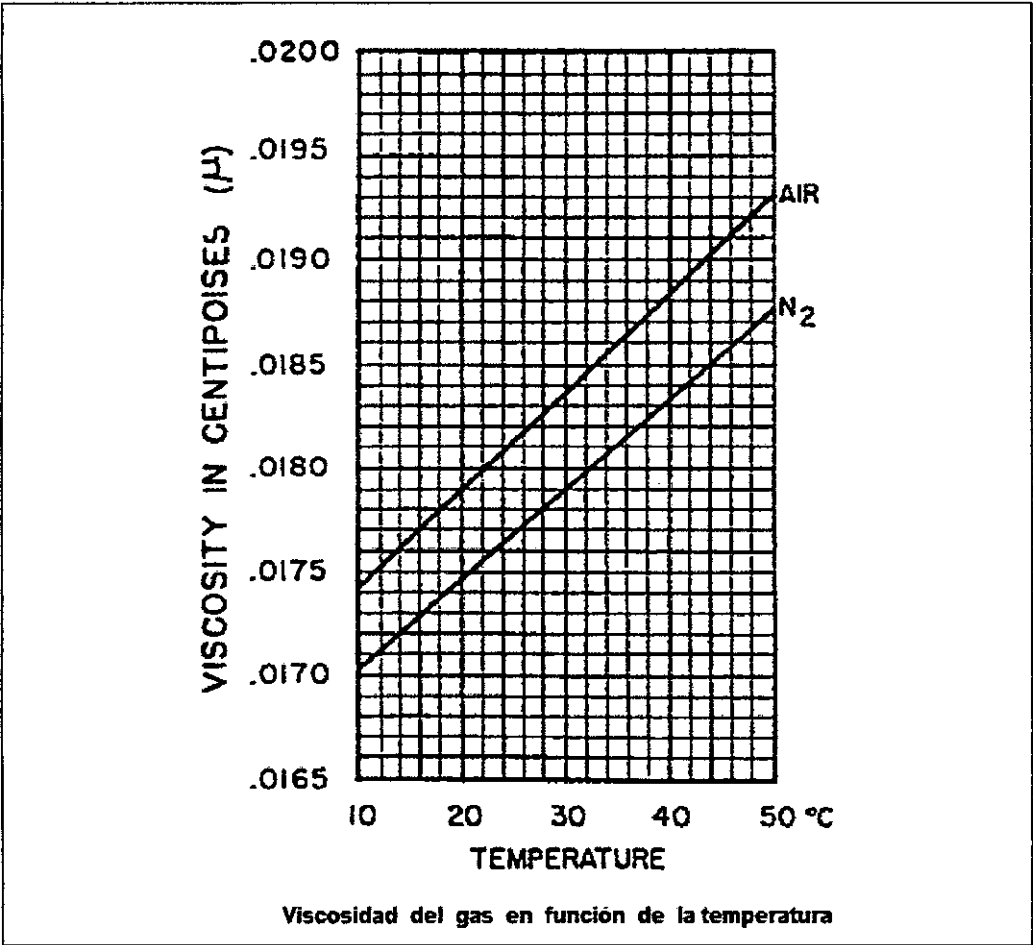


TABLA DE DATOS

n	S cm	M cm	L cm	Q cc/s	ΔP_i atm	μ cp	L cm	A Cm2	K Darcys
1					0.25				
2					0.50				
3					0.75				
4					1.00				

CAPITULO VI

INSUMOS USADOS Y RESIDUOS GENERADOS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE NÚCLEOS

A partir de la información de los trabajos prácticos se realizó una caracterización cualitativa y cuantitativa de Los insumos o sustancias químicas, utilizadas en cada práctica por grupo de alumnos. Así mismo se caracterizaron los residuos producidos en cada práctica, por alumno o grupo de alumnos.

Los residuos peligrosos generados fueron catalogados de acuerdo a la legislación nacional. Para cada residuo peligroso se aclaró cuál fue el componente que así lo hace y Para ello se consultaron las Fichas Internacionales de Seguridad Química de cada sustancia se informó los resultados obtenidos, por su extensión, se tabularon en el Anexo I

6.1 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO FACTIBLES DE REALIZAR EN UN ÁMBITO UNIVERSITARIO

6.1.1 SEGREGACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LOS LABORATORIOS DE ANÁLISIS DE NÚCLEOS.

Una vez conocidas las actividades desarrolladas en los laboratorios de análisis de núcleos y los residuos por ellos generados, fue necesario llevar a cabo una segregación de dichos residuos en origen, con el fin de realizar una mejor disposición de los mismos de acuerdo a las normativas vigentes.

La segregación de los residuos peligrosos se realizó teniendo en cuenta las corrientes a las que pertenecen de acuerdo a la normativa vigente en el país y las incompatibilidades químicas de los mismos. Éstas se presentan cuando ciertos compuestos químicos son mezclados con otros, generándose desprendimientos de gases tóxicos, calor o explosiones. En sus Anexos presenta la identificación de los grupos reactivos y, mediante tablas de dos entradas, la posible reacción adversa que puede surgir de la mezcla de dos o más desechos. Estas reacciones adversas o incompatibilidades se encuentran codificadas por letras.

A modo de ejemplo se puede decir que los grupos de sustancias incompatibles son los siguientes:

- Oxidantes con materias inflamables, o con carburos, o con nitruros, o con hidruros, o con sulfuros, o con alquilmetales, o con aluminio, o con magnesio y o con circonio en polvo
- Reductores con nitratos, o con halogenatos, o con óxidos, o con peróxidos, o con flúor.
- Ácidos fuertes con bases fuertes
- Ácidos sulfúricos con nitratos, o con halogenatos, o con óxidos, o con peróxidos, o con flúor.

Sustancia química	Incompatibilidades
Acetileno	Cloro, bromo, cobre, flúor, plata y mercurio.
Acetona	Ácido nítrico concentrado y mezclas con ácido sulfúrico.
Ácido acético	Ácido crómico, ácido nítrico, compuestos hidroxilo, etilenglicol, ácido perclórico, peróxidos y permanganatos.
Ácido crómico y cromo	Ácido acético, naftaleno, alcanfor, glicerina, alcoholes y líquidos inflamables en general.
Ácido nítrico concentrado	Ácido acético, anilina, ácido crómico, ácido hidrocianico, sulfuro de hidrógeno, líquidos y gases inflamables, cobre, latón y algunos metales pesados.
Ácido oxálico	Plata y mercurio.
Ácido sulfúrico	Clorato potásico, perclorato potásico, permanganato potásico (compuestos similares de metales ligeros, como sodio y litio).
Amoníaco anhidro	Mercurio (por ejemplo en manómetros), cloro, hipoclorito cálcico, yodo, bromo, ácido fluorhídrico anhidro.
Anilina	Ácido nítrico, peróxido de hidrógeno.
Bromo	Amoníaco, acetileno, butadieno, hidrocarburos, hidrógeno, sodio, metales finamente divididos.
Carburo de calcio	Agua, alcohol.
Clorato potásico	Ácido sulfúrico y otros ácidos.
Cloratos	Salas de amonio, ácidos, metales en polvo, azufre, materiales combustibles u orgánicos finamente divididos.
Cloro	Amoníaco, acetileno, butadieno, butano, metano, propano, y otros gases del petróleo, hidrógeno, carburo sódico, benceno, metales finamente divididos y aguarrás.
Cobre	Acetileno y peróxido de hidrógeno.
Hidrocarburos	Flúor, cloro, bromo, ácido crómico, peróxido sódico.
Hipocloritos	Ácidos, carbón activado.
Líquidos inflamables	Nitrato amónico, ácido crómico, peróxido de hidrógeno, ácido nítrico, peróxido sódico, halógenos.

Relación de sustancias químicas y sus correspondientes incompatibilidades

Tabla V.4 Relación de sustancias químicas y sus correspondientes incompatibilidades (continuación).

Sustancia química	Incompatibilidades
Mercurio	Acetileno, ácido fulmínico y amoníaco.
Metales alcalinos y alcalinotérreos	Agua, tetracloruro de carbono, hidrocarburos clorados, dióxido de carbono y halógenos.
Nitratos	Ácido sulfúrico, nitrato amónico y otras sales de amonio.
Nitrato sódico	Ácidos.
Nitritos	Bases inorgánicas y aminas.
Óxido cálcico	Aceites, grasas e hidrógeno; líquidos, sólidos o gases inflamables.
Perclorato potásico	Glicerina, etilenglicol, benzaldehído, ácido sulfúrico.
Permanganato potásico	Cobre, cromo, hierro, la mayoría de los metales o sus sales, alcoholes, acetona, materiales orgánicos, anilina, nitrometano y materiales combustibles.
Peróxido de hidrógeno	Alcohol etílico y metílico, ácido acético glacial, anhídridoacético, benzaldehído, disulfuro de carbono, glicerina, etilenglicol, acetato de etilo y de metilo, furfural.
Plata	Tetracloruro de carbono, dióxido de carbono y agua.
Sulfuro de hidrógeno	Ácidos.
Tetracloruro de carbono	Acetileno, amoníaco (acuoso o anhidro), hidrógeno.

Tabla V.5 Reacciones peligrosas de ácidos más comúnmente utilizados en laboratorios

Ácido inorgánico	Reactivo	Producto gaseoso formado
Ácido clorhídrico	Sulfuros	Sulfuro de hidrógeno
	Hipocloritos	Cloro
	Cianuros	Cianuro de hidrógeno
Ácido nítrico	Algunos metales	Dióxido de nitrógeno
Ácido sulfúrico	Ácido fórmico	Monóxido de carbono
	Ácido oxálico	Monóxido de carbono
	Alcohol etílico	Etano
	Bromuro sódico	Bromo y dióxido de azufre
	Cianuro sódico	Monóxido de carbono
	Sulfocianuro sódico	Sulfuro de carbonilo
	Yoduro de hidrógeno	Sulfuro de hidrógeno
	Algunos metales	Dióxido de azufre

Se puede observar que muchas de ellas hacen una segregación de residuos en distintos grupos de productos. En general, como elemento común, se establecen grupos de residuos que comprenden los siguientes compuestos: solventes halogenados, solventes no halogenados, soluciones acuosas ácidas, soluciones acuosas básicas, metales pesados y soluciones de sus compuestos y aceites usados. Algunos de ellos segregan soluciones de

inorgánicos), colorantes etc. dependiendo de las actividades de los laboratorios de cada universidad. Una segregación sencilla de realizar, que abarca todos los posibles residuos peligrosos de acuerdo a nuestra legislación y que tiene en cuenta las incompatibilidades químicas, es la que propone el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Dicha propuesta incluye siete grupos con la posibilidad de abrir subgrupos para realizar una óptima segregación de los residuos.

Algunas universidades peruanas la han adoptado textualmente dada su sencillez. Los grupos de residuos propuestos por la norma del Instituto de Seguridad e Higiene, son los siguientes:

Grupo I: Disolventes halogenados.

Grupo II: Disolventes no halogenados.

Grupo III: Disoluciones acuosas.

Grupo IV: Ácidos.

Grupo V: Aceites.

Grupo VI: Sólidos.

Grupo VII: Especiales.

La descripción de estos distintos grupos, según la bibliografía consultada es la siguiente:

Grupo I: Disolventes halogenados

Se entiende por tales, los productos líquidos orgánicos que contienen más del 2% de algún halógeno. Se trata de productos muy tóxicos e irritantes y, en algún caso, cancerígenos. Se incluyen en este grupo las mezclas de disolventes halogenados y no halogenados, siempre que el contenido en halógenos de la mezcla sea superior al 2%.

Ejemplos: Cloruro de metileno, bromoformo, etc.

Grupo II: Disolventes no halogenados

Se clasifican aquí los líquidos orgánicos inflamables que contengan menos de un 2% en halógenos. Son productos inflamables y tóxicos y, entre ellos, se pueden citar los alcoholes, aldehídos, amidas, cetonas, ésteres, glicoles, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y nitrilos.

Es importante, dentro de este grupo, evitar mezclas de disolventes que sean inmiscibles ya que la aparición de fases diferentes dificulta el tratamiento posterior

Grupo III: Disoluciones acuosas

Este grupo corresponde a las soluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos.

Se trata de un grupo muy amplio donde es necesario establecer divisiones y subdivisiones, para evitar reacciones de incompatibilidad, o por requerimiento de su tratamiento posterior:

Soluciones acuosas inorgánicas:

- i) Soluciones acuosas básicas: Hidróxido sódico, hidróxido potásico.
- ii) Soluciones acuosas de metales pesados: Níquel, plata, cadmio, selenio, fijadores.
- iii) Soluciones acuosas de cromo VI.
- iv) Otras soluciones acuosas inorgánicas: Reveladores, sulfatos, fosfatos, cloruros.

Soluciones acuosas orgánicas o de alta DQO:

- i) Soluciones acuosas de colorantes.
- ii) Soluciones de fijadores orgánicos: Formol, fenol, glutaraldehído.
- iii) Mezclas agua/disolvente: Eluyentes de cromatografía, metanol/agua.

Grupo IV: Ácidos

Corresponden a este grupo los ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10% en volumen). Debe tenerse en cuenta que su mezcla, en función de la composición y la concentración, puede producir alguna reacción química peligrosa con desprendimiento de gases tóxicos e incremento de temperatura. Para evitar este riesgo, antes de hacer mezclas de ácidos concentrados en un mismo envase, debe realizarse una prueba con pequeñas cantidades y, si no se observa reacción alguna, llevar a cabo la mezcla. En caso contrario, los ácidos se recogerán por separado (por ejemplo: ácido nítrico con ácido clorhídrico concentrado).

Grupo V: Aceites

Este grupo corresponde a los aceites minerales derivados de operaciones de mantenimiento y, en su caso, de baños calefactores.

Grupo VI: Sólidos

Se clasifican en este grupo los productos químicos en estado sólido de naturaleza orgánica e inorgánica y el material desechable contaminado con productos químicos. No pertenecen al mismo los reactivos puros obsoletos en estado sólido (grupo VII). Se establecen los siguientes subgrupos de clasificación:

Sólidos orgánicos:

Productos químicos orgánicos o contaminados con productos químicos orgánicos como, por ejemplo, carbón activo o gel de sílice impregnados con disolventes orgánicos.

Sólidos inorgánicos:

Productos químicos de naturaleza inorgánica. Por ejemplo, sales de metales pesados.

Material desechable contaminado:

Material contaminado con productos químicos. Se pueden establecer subgrupos de clasificación, por la naturaleza del material y la naturaleza del contaminante y teniendo en cuenta los requisitos marcados por el gestor autorizado.

Grupo VII: Especiales

A este grupo pertenecen los productos químicos, sólidos o líquidos, que, por su elevada peligrosidad, no deben ser incluidos en ninguno de los otros, así como los reactivos puros obsoletos o caducados. Estos productos no deben mezclarse entre sí ni con residuos de los otros grupos. Ejemplos:

- 1) Comburentes (peróxidos).
- 2) Compuestos pirofóricos (magnesio metálico en polvo).
- 3) Compuestos muy reactivos [ácidos fumantes, cloruros de ácido (cloruro de acetilo), metales alcalinos (sodio, potasio), hidruros (borohidruro sódico, hidruro de litio), compuestos con halógenos activos (bromuro de benzilo), compuestos polimerizables (isocianatos, epóxidos), compuestos peroxidables (éteres), restos de reacción, productos no etiquetados].
- 4) Compuestos muy tóxicos (tetraóxido de osmio, mezcla crómica, cianuros, sulfuros, etc.).
- 5) Compuestos no identificados

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La ejecución de una amplia variedad de actividades relacionadas con las etapas de exploración, localización, evaluación y desarrollo de los yacimientos petroleros, depende fuertemente de que se tenga un buen conocimiento de la magnitud y de la variabilidad espacial de estas propiedades. Tanto la factibilidad técnica como la económica de desarrollar un prospecto de yacimiento petrolero, dependen de que las rocas que intervienen exhiban una combinación adecuada de sus propiedades, para así constituir una estructura geológica confinante y almacenadora de hidrocarburos, que sea factible de desarrollarse técnicamente, a la vez que tenga el potencial de redituar un beneficio económico.
- La información que puede obtenerse del análisis de núcleos incluye: extensión areal del yacimiento, definición de estructuras geológicas, capacidad de almacenamiento, transmisividad hidráulica, contenido de fluidos, litología, variación espacial de los parámetros críticos del yacimiento, definición del grado de heterogeneidad del yacimiento, parámetros de las ecuaciones de Archie, presiones capilares, distribución de los fluidos, datos para calibrar los registros de pozos, permeabilidades relativas y mojabilidad preferencial
- Las permeabilidades de formaciones de gas y petróleo comercialmente productivas varían desde pocos milidarcys a varios miles. La permeabilidad de un núcleo medida en el laboratorio puede variar considerablemente de la permeabilidad promedio del yacimiento o parte del mismo, ya que a menudo se presentan variaciones muy grandes en la dirección vertical y horizontal.
- Los insumos con que se realizan los ensayos de Permeabilidad, porosidad, saturación de fluidos, deben tener su cadena de custodia para poder determinar la cantidad usada y evitar su derrames, ya que la mayoría son fluidos volátiles por lo tanto se vaporizan rápidamente y son susceptibles a ser respirados, si no se cuenta con una campana extractora de gases.
- Debe haber una clasificación selectiva de los residuos generados cada una en sus respectivos recipientes para posteriormente ser evacuados o darles un tratamiento de degradación.

- La cultura de prevención es lo más indicado, así respetando los procedimientos de cada ensayo, se usarán la cantidad adecuada de insumos y por lo tanto, se generará menos residuos.
- Se debe disponer de un procedimiento para desechar las muestras usadas o contaminadas, así como los hidrocarburos líquidos, que se usan en mayor cantidad.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

1. PIRSON SYLVAIN –Ingeniería de yacimientos petrolíferos.
2. CRAFT B.C. Y M.HAWKINS-Ingeniería aplicada a yacimientos petrolíferos.
3. TIPIAN VALENZUELA CESAR.-Manual de análisis de núcleos.
4. CARRILLO BARANDIARAN LUCIO.-Ingeniería de reservorios. Edic.1995.
5. RUSKA.-Manual de laboratorio de análisis de núcleos.
6. MANUEL MUCCI.-Curso Básico de Fractura Hidráulica, Editado por Company San Antonio-PRIDE, 1ra Edición, Marzo 2003. Argentina.

ANEXOS

ETAPAS	PRODIMIENTOS	PROCESO
PREPARACION DE LAS MUESTRAS	<ul style="list-style-type: none"> • CORTE DE MUESTRAS • LIMPIEZA DE MUESTRAS • SECADO DE MUESTRAS 	<ul style="list-style-type: none"> • FISICO • FISICO • FISICO
DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • GRAVIMETRICOS • VOLUMETRICOS • LEY DE BOYLE 	<ul style="list-style-type: none"> • FISICO • FISICO • FISICO
DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • PERMEAMETRO DE GAS RUSKA 	<ul style="list-style-type: none"> • FISICO
DETERMINACION DE LA SATURACION DE FLUIDOS	<ul style="list-style-type: none"> • METODO DE RETORTA A PRESION ATMOSFERICA 	<ul style="list-style-type: none"> • FISICO • QUIMICO

CORTE DE LAS MUESTRAS

RESIDUO	DESCRIPCIÓN	TIPO
<ul style="list-style-type: none"> • Restos de rocas, cementos, arcillas, arenas, calizas, polvo • Aceite y grasa • Materiales usados con restos de hidrocarburos. • Suelo contaminado con Hcs • Aguas de residuales • Hidrocarburos gaseosos 	<ul style="list-style-type: none"> • Restos del corte de los núcleos para extraer la muestra, sedimentos. • Usados como lubricantes para el taladro y para proteger de la corrosión. • Trapos, wypes, guantes y otros materiales contaminados con Hcs • Derrames de Hcs durante el corte • Aguas de circulación para el enfriamiento de la broca y corte de muestras • Son expulsados en el momento del corte 	

LIMPIEZA DE MUESTRAS**EXTRACCIÓN DE FLUIDOS POR SOLVENTES**

SOLVENTE	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO EXTRAIDO	PTO. EBULL. (°C)	TIPO
Acetona	Aceite, agua y sal + Solvente	56.5	
Cloroformo/metanol	Aceite, agua y sal + solvente	53.5	
Ciclohexano	Aceite + solvente	81.4	
Cloruro de etilo	Agua limitada + solvente	83.5	
Hexano	Aceite + solvente	49.7-68.7	
Metanol	Agua, sal + solvente	64.7	
Cloruro de metileno	Aceite, agua limitada+solvente	40.1	
Nafta	Aceite + solvente	160.0	
Tetracloroetileno	Aceite+ solvente	121.0	
Tolueno	Aceite+solvente	110.6	

SECADO DE MUESTRAS

Tipo de Roca	Método	T° C	RESIDUO	TIPO
Arenisca(bajo contenido de arcilla)	Horno convencional u horno al vacío	116 90	Vapor de agua de cristalización, gases de hidrocarburos	
Arenisca(alto contenido de arcilla)	Horno de humedad Relativa de 40%	63	Vapor de agua en las arcillas y gases Hcs	
Carbonato	Horno convencional u Horno al vacío	116 90	Vapor de agua, gases Hcs, CO2 de la calcinación de carbonatos	
Esquisto u otra roca con alto contenido de arcilla	Horno de humedad Relativa 40% Horno convencional	60	Vapor de Agua, gases de esquistos	

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD y PRESIÓN CAPILAR

Método	Variable determinada	Residuos	Tipo
PERMEÁMETRO DE GAS RUSKA N°1011	Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none">• Gas nitrógeno• Gas helio• Gases de hidrocarburos• Muestras de rocas	